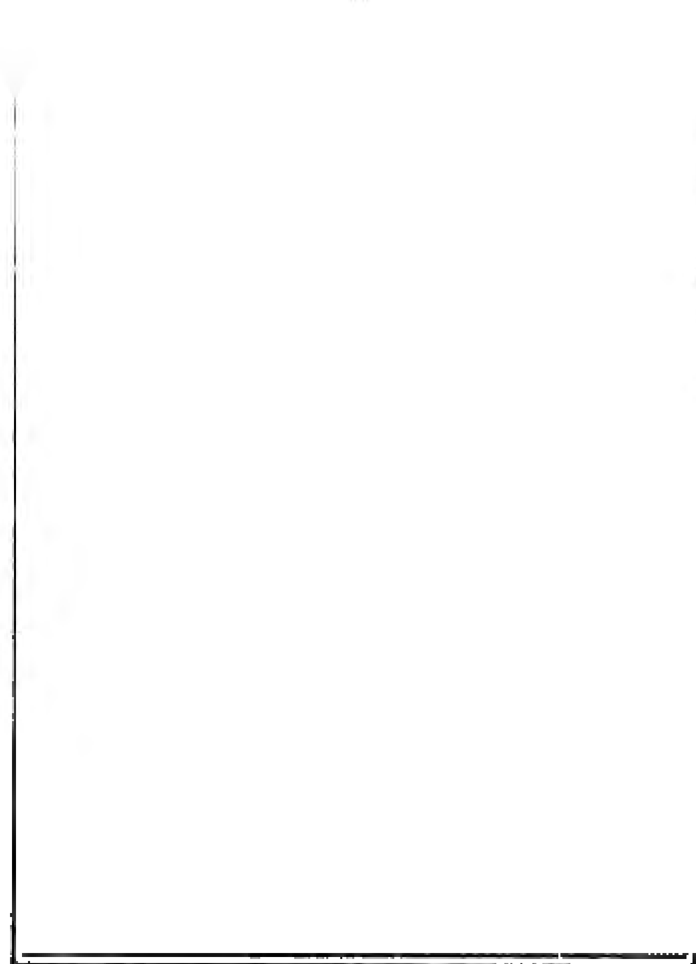






ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée ainsi qu'il suit :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES

DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MIN

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XIV.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINE

ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

—

1878

ANNALES
DES MINES.

NOTE SUR LE SIGNAL AVERTISSEUR
SYSTÈME MOREAUX (*)

PAR M. MOREAUX.

Détail des pièces. — L'appareil se compose (V. Pl. I, *fig.* 1 et 2) : d'un bâti en fonte BB (*fig.* 10 et 11), d'une poulie à gorges O (*fig.* 3 et 4), destinée à recevoir les chaînes de manœuvre et fixée sur un bout d'arbre indépendant A'; d'un verrou V (*fig.* 7 et 8) articulé sur l'arbre A du signal, d'une pédale P et d'un levier L (*fig.* 12 et 13); la pédale soudée à l'extrémité d'un arbre KK', le levier emmanché à l'autre extrémité et en sens inverse.

Sur le bâti BB (*fig.* 10 et 11) sont venues de fonte différentes douilles destinées à recevoir : 1° la douille Q, le petit axe autour duquel oscille le levier de rappel de transmission M N (*fig.* 5 et 6); — 2° les deux petites douilles C et C', deux petits axes recouverts de caoutchouc destinés à amortir

(*) Dans sa séance du 12 février 1878, la commission des inventions et règlements concernant les chemins de fer, après avoir entendu un rapport sur cet appareil présenté par M. Meissonnier, inspecteur général des mines, a émis l'avis suivant : « La commission, considérant que le disque de M. Moreaux paraît avoir « rendu, sur le réseau du Nord, des services appréciés par un certain nombre d'agents de l'exploitation, est d'avis qu'il y a lieu « de faire connaître cet appareil aux compagnies, sans toutefois « leur en recommander l'emploi. Elle exprime, en outre, le vœu « qu'une note descriptive soit insérée dans les *Annales des ponts* « *et chaussées* et dans les *Annales des mines.* »

hoc et à limiter la course du levier L et partant de la ale P; — 3° la douille U, l'extrémité de l'arbre KK' sur uel sont fixés le levier et la pédale.

ont également venues de fonte sur le bâti deux par- cylindriques *h* et *h'* destinées à limiter le quart de révo- on du signal et servant de heurtoir à la poulie O.

e collet G du bâti présente deux diamètres différents. n, plus petit, est égal au diamètre de l'arbre A' sur lequel fixée la poulie à gorges O : l'autre, plus grand, égal au mètre de l'arbre du signal, sur lequel arbre se trouve culé le verrou V. Sur l'embase formée par la différence es diamètres repose la petite lentille I (*fig*. 9) destinée à a séparer les deux arbres A et A', et à leur donner une épendance complète vis-à-vis l'un de l'autre. De plus, deux arbres tournant tous deux sur pivot, il n'y a à ndre ni l'encrassement, ni la congélation de l'huile pen- t l'hiver, ce qui se produirait si la poulie à gorges O rnait tout simplement autour de l'arbre A prolongé.

a poulie O (*fig*. 3 et 4) a deux gorges qui reçoivent, l'une, l qui vient de la gare, l'autre, la chaîne qui va au levier rappel MN. Elle possède, à sa partie inférieure, une ue *q*, qui, avec les heurtoirs *h* et *h'*, sert à limiter son rt de révolution. Les heurtoirs *h* et *h'* sont armés de ts tampons en caoutchouc destinés à amortir le choc de nanœuvre. A l'extrémité du rayon du plateau supérieur la poulie sont venus de fonte deux bourrelets *b* et *b'* sant entre eux un espace vide ou encoche E. C'est au yen de cette encoche et du verrou V que s'établit la tion entre le signal A et la manœuvre de la gare, de uelle dépend la poulie O.

e verrou oscille au moyen de deux petits axes vissés chacune de ses fourches, et dont les extrémités jouent ement dans deux trous percés sur le bloc carré qui se ive calé sur l'arbre A.

a pédale P est une masse de fer arrondie et soudée à

l'extrémité de l'arbre KK'. A l'autre extrémité de cet arbre est emmanché le levier L qui est plus léger que la pédale. Dans la position naturelle, la pédale emporte le levier L. L'extrémité de l'arbre KK', du côté de la pédale, est supportée par un petit palier en fonte.

Sur l'arbre du signal A se trouve fixée la poulie R autour de laquelle s'enroule la chaîne qui, au moyen de la poulie à gorge S, aboutit au petit poids *p*. C'est le poids automoteur qui fait tourner le disque quand le déclanchement est opéré par le train.

Ces explications préliminaires données, voyons comment fonctionne l'appareil. Les *fig.* 1 et 2 représentent le signal à voie libre. Le verrou V repose dans l'encoche de la poulie à gorges O. La pédale P se trouve près du rail, dont elle atteint le champignon (à la partie inférieure), et elle est maintenue dans cette position par le levier L, sur lequel appuie de tout son poids le verrou V. — Le petit poids automoteur *p* ferait tourner le signal et le mettrait à l'arrêt, si le verrou V n'était retenu par l'arête du bourrelet *b* formant sur le plateau de la poulie O l'encoche E. — Quand le train passe, le boudin de la roue abaisse la pédale (trait —·—·—). Le levier L se relève (trait —·—·—) et chasse le verrou de l'encoche; le petit poids automoteur agit, et met le disque à l'arrêt. Le verrou V vient occuper la position figurée en V' sur le bourrelet *b* de la poulie O.

La pédale, nous l'avons dit, est plus lourde que le levier L, elle reste donc abaissée; le levier qui limite la course de la pédale est arrêté par le petit axe *c'*.

Le disque est donc à l'arrêt, la sonnerie électrique l'indique à la gare. L'aiguilleur fait la manœuvre du levier comme si le disque n'était pas automatique. Le levier à lentille MN s'abat dans la position indiquée par le trait pointillé; la poulie O décrit un quart de tour dans le même sens que celui décrit tout à l'heure par le signal, et lorsque l'encoche se trouve en face du verrou V, celui-ci y retombe.

Un mouvement inverse de la manœuvre ramène la poulie O et le disque qui en dépend, puisque le verrou est enclanché, dans la position de voie libre. Dans ce mouvement, le verrou V a rencontré le levier L, l'a abaissé, et, partant, a relevé la pédale qui se trouve prête à recevoir le choc de la première roue du prochain train.

Le disque étant solidaire de la poulie O par l'intermédiaire du verrou V, la manœuvre est absolument la même pour le signal automatique que pour les autres.

Comme on le voit, tous ces mouvements sont très-simples, et il n'y a pas à craindre que telle ou telle pièce vienne à se briser et à empêcher le signal de fonctionner. Seul, le verrou est à articulation et pourrait quelquefois se briser. Mais, dans ce cas, il disparaît et le signal se met naturellement à l'arrêt, entraîné par le petit poids automoteur, sans qu'il soit possible de le remettre à voie libre. Quant à la pédale, sa disposition donne toute garantie : aussitôt qu'elle est touchée et que le verrou, sorti de l'encoche, repose sur le bourrelet *b* de la poulie O, elle reste abattue rien que par son propre poids, elle ne reçoit donc que le choc d'une roue ou deux. Dans les appareils à pédale qu'on a employés jusqu'ici (dans les pédales à soufflet notamment), la pédale recevait le choc de toutes les roues, elle ne pouvait résister bien longtemps, de là les préventions contre tous les systèmes à pédale. Dans ce nouveau système, rien n'est à craindre en ce qui concerne cet organe de l'appareil automatique. On peut, en effet, lui donner la force qu'on veut : puisqu'il suffit que le poids du verrou ramène l'équilibre en faveur du levier L, on peut donner au levier L et à la pédale P n'importe quels poids, pourvu que la différence entre ces poids reste toujours la même. De plus, la pédale ne reçoit qu'un choc ou deux, et ces chocs sont relativement légers, le sommet de la pédale se trouvant à $0^m,023$ en contre-bas du rail.

NOTICE

SUR

LES MINIÈRES DE LA HAUTE-MARNE

Par M. F. RIGAUD, ingénieur des mines.

Gisements miniers. — La Haute-Marne est traversée, vers le sud, par une grande zone de failles accusées à la fois par d'importantes différences de niveaux qui ont créé le plateau de Langres, et par la juxtaposition de terrains géologiquement assez éloignés : l'ensemble de cette zone s'étend du sud-ouest au nord-est; une fois qu'on l'a dépassée, en se dirigeant vers le nord-ouest, on trouve les terrains régulièrement disposés suivant leur succession naturelle, depuis les marnes irrisées jusqu'au gault.

Les terrains secondaires sont seulement percés en deux points, auprès de Châtillon-sur-Saône et de Bussières-les-Belmont, par deux pointements de roches cristallines dont les analogues se retrouvent plus au nord-est, dans le département de la Haute-Saône.

Autour du premier, les grès bigarrés présentent un certain développement; il paraît que des traces de minerais de mercure auraient été rencontrées dans le courant du siècle dernier, probablement dans les quartzites formant la séparation des grès bigarrés et des roches granitiques; mais les données fournies à ce sujet par le tome Ier du *Journal des mines* manquent absolument de précision.

Le second pointement a donné lieu à extraction de pierres dures pour empierrement de chaussées; la carrière est ouverte dans un banc de schiste compacte et métamorphique qui entoure l'îlot granitique et paraît au jour sur une très-

faible étendue. On a rencontré, dans cette exploitation, des traces d'un filon de galène et de sulfate de baryte. A quelque distance de là, il y a trente ou quarante ans, un explorateur avait entrepris un puits de recherches destiné à reconnaître dans les marnes irisées le prolongement des gisements de houille triasique exploités dans une certaine zone du département des Vosges, au voisinage de Neufchâteau, notamment à Norroy. On a trouvé en effet le banc houiller, mais seulement avec une puissance de $0^m,30$ environ, et toujours d'aussi médiocre qualité que dans les Vosges; aussi la découverte a-t-elle été laissée de côté. Les auteurs de ce travail n'avaient en vue que la recherche du lignite, et personne n'a essayé de parvenir à la houille proprement dite, si elle existe dans les environs de Bussières-les-Belmont.

La même couche charbonneuse apparaît encore, mais avec une puissance moindre, dans les tranchées du chemin de fer, entre Hortes et Chalindrey, et aucune exploitation n'y a jamais été tentée.

Mais le fer est largement représenté dans le département par une série de minerais variés : dans les divers étages compris entre les marnes irisées et le gault, on rencontre des couches régulières de minerais hydratés à cinq niveaux différents; en outre, à trois d'entre eux se rattachent autant de catégories de gisements remaniés : en tout huit dépôts de minerais dont sept ont donné lieu à des exploitations plus ou moins durables et étendues. On pourrait même, si l'on voulait, établir deux ou trois subdivisions de plus, mais elles s'indiqueront d'elles-mêmes dans la description des terrains miniers.

Un seul de ces gisements a été jusqu'ici considéré comme pouvant rentrer dans la catégorie des mines de fer concessibles : c'est celui du minerai oxfordien en place; il a donné naissance aux deux concessions de Creux-de-Fée et de Beauregard, que nous examinerons avec les minières

du même étage : tous les autres sont assez voisins de la surface, ou assez irréguliers pour avoir été partout traités comme minières. Leur contenu est toujours du peroxyde de fer hydraté; cependant on y rencontre quelques carbonates de fer et quelques grains magnétiques, parfois aussi des parties très-manganésifères, malheureusement trop rares; quant à la texture, elle varie depuis la compacité absolue du banc de fond de Wassy jusqu'à la division en oolithes d'une grande ténuité à Marault. Certains minerais sont employés bruts, beaucoup d'autres doivent être lavés, et la teneur en fer des mines livrées aux fourneaux peut varier de 30 à 50 p. 100.

Voici, d'ailleurs, le tableau de ces divers gisements :

Lias moyen.	I	Minerai en place.
Lias supérieur.	II	Minerai en place.
»	III	Minerai d'alluvion.
Oxfordien inférieur.	IV	Minerai en place.
»	V	Minerai d'alluvion.
Néocomien inférieur.	VI	Minerai remanié.
»	VII	Minerai en place.
Néocomien supérieur.	VIII	Minerai en place.

I. — LIAS MOYEN.

La couche de minerai de fer située dans les argiles du lias a été fort peu étudiée, faute d'exploitations. Nous l'avons reconnue à Chalindrey, où elle forme un niveau très-net un peu au-dessus de la gare; le banc de minerai reste saillant au milieu des argiles dans les parois des tranchées. Il a une épaisseur de $0^m,30$ environ à Chalindrey même, mais sa puissance s'accroît notablement vers l'ouest : il paraît assez homogène et se compose d'une pâte oolithique rouge-brun clair qui le rapproche beaucoup des minerais calcaires de l'oxfordien exploités à Is-sur-Tille, en même temps que de certains minerais de la Meurthe. Il renferme une grande quantité de pectens, d'ammonites et de belem-

nites, aussi est-il notablement phosphoreux ; jusqu'ici il a passé inaperçu, et, du reste, il ne semble bien développé qu'aux environs de Chalindrey. Dans toute la vallée de la Meuse, où le lias moyen est constamment apparent sur une grande longueur et forme la base des hauts escarpements qui encaissent la vallée, ce banc nous paraît remplacé généralement par des grès marneux sans consistance ; ce ...omme le banc de minerai, est facilement attaqué ... agents atmosphériques et partagé par eux en no... rossièrement sphériques.

...ême banc de minerai est très-développé dans la ...aône, particulièrement à Conflans, où sa puissance ...ᵐ,30 ; son analyse a donné les résultats suivants :

Peroxyde de fer (fer : 25).	37,0
Acide phosphorique.	0,5
Silice.	8,0
Alumine.	19,0
Chaux.	15,0
Perte par calcination.	20,5
	100,0

II. — LIAS SUPÉRIEUR.

...rai en couches. — Le niveau ferrifère qui a donné ...ce aux nombreux hauts-fourneaux de Meurthe-et-... étend ses ramifications jusque dans le département ...ute-Marne, mais en s'affaiblissant considérablement. ... importante dans la Haute-Saône, notamment à ... où elle conserve une puissance de 2^m,50, la couche ...erai reste fort apparente sur les deux rives de la ...le la Meuse, de Montigny à Neufchâteau ; mais elle ...s intéressante par ses fossiles que par ses minerais ...mes ; elle est souvent réduite à un banc de calcaire ...é et esquilleux plein d'ammonites ayant 0^m,10 ou ... d'épaisseur, très-ferrugineux d'ailleurs, mais sans

valeur métallurgique. Sur la vallée de la Traire, en amont de Nogent, la couche paraît un peu meilleure ; au pied des roches de Langres elle est à peine représentée, et, reparaissant quelque peu vers Vesaignes, Marnay et Foulain, elle s'efface complétement un peu plus à l'ouest, avant de disparaître au-dessous du fond des vallées, avec les roches qui la recouvrent.

Le minerai du lias supérieur est peu riche en fer, mais il est sensiblement calcaire : sa composition est la même à Jussey et à Nogent et analogue à beaucoup d'échantillons de minerais de la Meurthe.

	MINERAI DE JUSSEY.	MINERAI DE NOGENT.
Peroxyde de fer	48,0 (fer : 34)	43,0 (fer : 30)
Acide phosphorique	traces	traces
Alumine	8,0	10,0
Silice	14,0	15,0
Chaux	12,0	14,0
Perte	18,0	18,0
	100,0	100,0

Si peu riche que soit ce banc minier, c'est à lui cependant que doit sa naissance l'importante industrie de la coutellerie nogentaise. On trouve, en effet, tout le long de cet affleurement les traces des anciens procédés de fabrication du fer : dans la partie haute de la vallée de la Traire, vers les sources du Rognon et vers celles de la Suize ; de plus, sur la Marne, vers Foulain et dans le vallon de Moiron, jusque sur la Meuse, nous avons pu observer un grand nombre de petits étangs très-analogues entre eux : quelques-uns sont aujourd'hui desséchés et livrés à la culture ; d'autres ne servent plus que de réservoirs à poissons ; d'autres, plus nombreux, régularisent les eaux de moulins, d'aiguiseries, de scieries, mais tous ont un caractère commun : c'est de présenter des digues ou des restes de digues pavés de petites masses rouges et dures applées *sornes*, et qui représentent les résidus des foyers à fabriquer le fer ; et les che-

mins avoisinants sont presque toujours garnis des mêmes matériaux.

Sans doute, le minerai consommé par ces usines n'était pas tiré dans la couche même, par puits et galeries, comme on le fait aujourd'hui à Nancy ou à Wassy, mais il était pris dans les terres placées à l'aval des affleurements et lavées avec soin, et la liaison entre ces minerais et la couche même nous paraît trop immédiate, au moins dans cette région, pour que nous ayons cru devoir les séparer en articles différents. Nous avons examiné soigneusement le terrain, et nous pensons que la terre à mine était recueillie sur une assez grande surface, bien que nous n'ayons pas trouvé trace de bancs renfermant plus de 7 à 8 p. 100 de minerai au lavage : il est probable que des recherches feraient découvrir mieux, mais cela n'est pas certain ; car, d'une part, les anciens forgerons semblent avoir partout préféré les minerais très-délayés dans la terre aux bancs moyennement plus riches ; le lavage leur permettait probablement d'obtenir une mine à fondre plus pure, condition essentielle à cette époque, et l'importance de la production ne rendait pas très-gênante la nécessité de laver une quan-
terre relativement considérable ; et, d'autre part,
trie de la forge a cessé de bonne heure aux environs
ent, ainsi que le prouvent les caractères spécifiques
nes : petites, hémisphériques, rouges, très-dures,
à polir. D'où il faut conclure que la métallurgie no-
e a été rapidement écrasée par des fers produits à
distance dans des conditions plus économiques, par
e par les forges de Manois et Rimaucourt, au nord,
gne, Riancourt, Brethenay, à l'ouest, et peut être
les d'Arc, au sud, appartenant toutes aux minerais
ens.

ndant, il est bon de faire remarquer que les désor-
litiques de la fin du moyen âge ont joué un grand
ns la disparition de certaines usines, comme nous

aurons à le constater plus loin. Dans tous les cas, la couche liasique, n'est point exploitable dans la Haute-Marne, et les dépôts formés dans les vallées par la destruction de ses affleurements présentent généralement aujourd'hui le même caractère, sauf peut-être sur quelques points inconnus et avec fort peu d'étendue.

III. — LIAS SUPÉRIEUR.

Minerai d'alluvion. — Nous considérons comme appartenant à cette seconde catégorie les dépôts ferrugineux qui ont été exploités depuis fort longtemps et jusqu'à 1872 sur le plateau montagneux qui s'étend dans les environs de Bussières-les-Belmont et de Fayl-Billot, en se rattachant, vers le sud-est, aux minerais de la Haute-Saône : il nous paraît probable, en effet, que les terres à mines qui recouvent plus ou moins directement les marnes irisées, les grès infraliasiques, les calcaires à gryphées surtout, dans cette région, proviennent de la destruction par érosion et du lavage sur place des marnes du lias avec transport assez irrégulier, suivant les courants qui ont existé à cette époque. Dans notre département, ces minerais ne semblent pas avoir donné jamais lieu à des travaux bien importants; ils étaient cependant assez étendus, faciles à atteindre, le plus souvent tout à fait superficiels, et plus riches que ceux de Nogent; nous en avons vu à 25 p. 100 au lavage, et la qualité en paraît au moins égale à celle des précédents : mais la cause de leur abandon réside sans doute, en grande partie, dans l'absence de cours d'eau faciles à aménager pour le travail du fer. Il y a eu néanmoins, croyons-nous, une forge anciennement auprès de Bussières; depuis sa disparition, le haut-fourneau de Farincourt a seul tiré un peu de ces minerais, mais il

est aujourd'hui éteint, et sans doute pour longtemps; ces minières n'ont donc plus qu'un intérêt historique. Le minerai qu'elles fournissent rentre dans la catégorie des mines grises : sa composition, après lavage est la suivante :

Peroxyde de fer.	43.0 (fer : 30)
Alumine.	10,0
Chaux.	16,0
Silice.	7,0
Perte.	24,0
	100,0

IV. — OXFORDIEN INFÉRIEUR.

Minerai en couches. — La seconde zone ferrifère de notre région se trouve placée à la base des argiles oxfordiennes; on la connaît parfaitement régulière, surtout à l'ouest du chemin de fer de Bricon à Châtillon-sur-Seine, où elle présente une puissance de 1 mètre environ, en plongeant de 1 p. 100 à peu près vers le nord-ouest, et en s'enfonçant sous les hautes collines situées entre cette ligne et la vallée de l'Aube; au delà de ce cours d'eau, les affleurements ont disparu au-dessous du niveau du fond des vallées.

Jusqu'à ces dernières années, l'existence de la couche ferrifère était tout à fait négligée, alors que le même horizon géologique donnait lieu à des exploitations d'une certaine importance dans le département de la Côte-d'Or, à Villecomte, par exemple, mais les anciens fondeurs préféraient de beaucoup les alluvions ferrifères et les employaient exclusivement pour leurs hauts-fourneaux.

Ce n'est qu'en 1856 que commencèrent des travaux de quelque importance, entrepris auprès de Latrécey, par la société de Châtillon et Commentry. Les recherches faites par cette société ayant antérieurement démontré la régularité de la couche et l'impossibilité de l'attaquer autrement

que par des travaux réguliers et souterrains, une concession, dite de Creux-de-Fée, lui avait été accordée en 1856; l'exploitation a duré 10 ans et suivi une marche fort régulière qui a amené au jour 1.213.813 quintaux métriques de minerai. Il était transporté à l'usine de Chevrolay auprès de Dancevoir, lavé et fondu au charbon de bois, avec mélange de minerais d'alluvion provenant de localités peu éloignées; mais la crise métallurgique de 1860 réagit vivement sur les travaux de cette mine et en diminua bien l'activité; cependant l'extraction continua jusqu'en 1866. Dans le courant de cette dernière année, des infiltrations d'eau se produisirent avec plus d'abondance que de coutume, et comme la société ne tenait plus assez à cette exploitation pour faire des dépenses d'épuisement, elle abandonna tout travail et laissa l'eau remplir progressivement toutes les galeries souterraines. Depuis lors, aucun travail de reprise n'a été tenté.

Cependant, deux ans auparavant, la même société avait fait des recherches un peu plus au sud et retrouvé la couche au lieu dit Beauregard. Elle avait demandé une concession et l'avait obtenue en 1866. La plus grande analogie se présentait entre ces deux régions très-voisines; mais on n'a pas jugé utile de reprendre à Beauregard les travaux que l'on venait d'abandonner à Creux-de-Fée, et la seconde concession n'a jamais été attaquée. Le stock de minerai laissé au carreau de la première mine a été successivement consommé par le haut-fourneau de Chevrolay, de 1866 à 1871; aujourd'hui, il en reste encore quelque peu, tout à fait abandonné.

Les travaux de Creux-de-Fée avaient donné lieu, vers 1860, à quelques recherches, dans des conditions analogues, faites un peu plus au nord, à Créancey, et couronnées du même succès. La couche se présentait même un peu plus calcaire, mais aussi bien plus dure à attaquer, et par conséquent plus coûteuse comme extraction. Ces pre-

mières recherches n'ont pas été poussées bien loin; elles étaient faites d'ailleurs par quelques ouvriers qui n'avaient pas de ressources suffisantes pour les développer. La puissance atteignait $1^m,20$ dans cette région.

Lors de la singulière crise métallurgique de 1872, la rareté des minerais sur le marché, leurs hauts prix, la valeur considérable de la fonte au bois et de la fonte mixte, firent remettre en feu, pendant un an, un des hauts-fourneaux d'Orges. Leur propriétaire voulut alors, à son tour, faire des recherches de minerais dans ses environs, et, comme il se trouvait au pied de la montagne de Bricon, formée par les terrains oxfordiens, comme le sol de la vallée renferme beaucoup de minerais miliaires, nous lui indiquâmes comme probable l'existence, à quelques centaines de mètres de ses usines, de la couche reconnue plus au sud, à Latrécey et à Créancey; M. Bordet fit alors une demande en permission de recherches et commença quelques fouilles, dans le but de demander ensuite une concession. Ses travaux furent naturellement couronnés de succès et la couche reconnue en plusieurs points de ses affleurements qui lui assuraient une puissance régulière de 1 mètre sur une surface de plus de 120 hectares au-dessus des vallées avoisinantes. L'exploitation aurait donc été facile et économique : la qualité du minerai était très-satisfaisante, mais les circonstances industrielles changèrent trop rapidement pour que M. Bordet pût songer à mettre ses projets à exécution, et le haut-fourneau d'Orges s'éteignit de nouveau, et pour longtemps, après cette courte période d'activité due à des circonstances tout exceptionnelles qui ne se représenteront peut-être jamais. Mais cette recherche ne manque pas d'intérêt; elle montre la grande régularité du gisement oxfordien, que l'on retrouverait sans doute tout le long des côtes d'Alun et des crêtes coralliennes où domine le corn-brash au nord-ouest de la ligne de Chaumont à Neufchâteau. Aucun travail n'a été exécuté dans ce sens, à

notre connaissance; d'ailleurs la position topograp
de l'affleurement géologique de l'oxfordien inférieur
toute cette région ne permettrait pas à des fouilles de
trer bien loin dans le gîte sans avoir à lutter cont
eaux, car le fond des vallées est au niveau même
couche, et celle-ci plonge régulièrement à partir c
affleurement.

La couche des minerais oxfordiens, malgré la qu
considérable de minerai qu'elle renferme et l'étenc
son gisement, n'a donc joué jusqu'ici qu'un rôle tr
important dans la métallurgie Haut-Marnaise, et n
pas exploitée de longtemps. Quand elle sera repri
cela arrive, ce sera auprès de Beauregard, de Latréc
Créancey, d'Orges et de Bricon, où l'industrie trou
à s'approvisionner pendant longtemps sans travaux
coûteux.

Les minerais argileux extraits de cette couche sont
riches en fossiles de grandes dimensions; ils rende
lavage 45 p. 100 en moyenne, et le produit de cett
ration fournit une mine très-menue, sous forme d'oo
grises ou noires, facile à fondre au charbon de bois,
fort incommode au coke; la composition du produit
peu, d'un point à un autre, et elle est représentée par
lyse suivante :

Eau, acide carbonique.	16,1
Silice.	7,4
Alumine.	7,1
Chaux.	2,5
Peroxyde de fer.	67,3 (fer :
Peroxyde de manganèse.	1,0
	101,4

V. — OXFORDIEN INFÉRIEUR.

Minerais d'alluvion. — Une classe de minerais d'alluvion que sa position géologique rattache à la zone précédente et qui nous paraît être le produit du lavage sur place de cette couche, avec des transports à faible distance, a joui pendant un certain temps d'une importance bien plus considérable dans la métallurgie du pays.

Ce gisement est caractérisé par sa pauvreté même et par la petitesse des grains qui le composent, et qui lui a fait donner le nom de minerai miliaire. On le rencontre dans la Haute-Marne sur une très-grande surface, tout le long du chemin de fer de Châtillon-sur-Seine à Chaumont et à Neufchâteau, et sur une largeur qui varie de 4 kilomètres à 4 ou 500 mètres, c'est-à-dire à peu près sur toute l'étendue où le corn-brash forme le sous-sol : parfois même, exceptionnellement, il dépasse ce terrain et se rencontre sur le forest-marble ; ce cas ne se présente guère qu'à Chaumont même, et sur une très-faible étendue, parce que là seulement, grâce à la vallée de la Suize, le forest-marble se trouve en un point au-dessous du plateau formé par le corn-brash. Partout ailleurs, par suite de la pente générale des couches vers le nord-ouest, et malgré sa position sous-jacente, le forest-marble domine le corn-brash, et le lavage des couches placées sur le corn-brash n'a pu entraîner de minerai sur le forest-marble. Les diagrammes Pl. I, *fig.* 14, 15, 16, indiquent cette disposition d'une manière générale pour les trois parties distinctes de cette région. Le premier s'applique à la zone comprise de Chaumont (ou mieux de Villiers-le-Sec) à Bologne ; dans cette partie la Marne court sud-nord, parallèlement aux côtes d'Alun et forme à la fois la limite du plateau et de la zone ferrifère.

Dans les deux autres, les cours d'eau sont disposés sensiblement suivant la pente naturelle des couches, c'est-à-dire sud-est, nord-est ; le second diagramme représente une

coupe dans cette direction, relative aux environs de Latrécey; le troisième, une coupe analogue près de Manois : la différence entre ces deux coupes consiste dans la position de l'affleurement, par rapport au fond des vallées et dans la présence ou l'absence du corallien pour former le sommet des coteaux.

La vue de ces croquis semble bien indiquer ce que nous admettons, c'est-à-dire que la couche à minerai s'est jadis étendue sur une partie importante du corn-brash, puisqu'elle y a été lavée pendant les érosions et qu'elle y a laissé les minerais mélangés d'argile tels qu'on les y rencontre.

Nous devons ajouter, pour être complet, que dans le sud-est du département, et par suite de la grande faille de Chassigny qui a changé la position relative des terrains sur plus de 200 kilomètres, on retrouve les mêmes marnes oxfordiennes, toujours accompagnées de leur cortége de minerais miliaires, absolument pareils à ceux dont nous venons d'indiquer la situation. On les a rencontrés et jadis exploités à Dommarien notamment, en couches irrégulières, sur la surface du corn-brash, aussi pauvres et aussi fins qu'à Créancey et à Marault.

La puissance du banc minier est extrêmement variable : parfois il disparaît complétement sur des surfaces restreintes, parfois, au contraire, il atteint 2 mètres, mais en général son épaisseur est de $0^m,60$ à $0^m,80$. Très-souvent, il est divisé en deux couches dites rouge et grise, mais ces dénominations n'ont rien d'absolu, et tous les intermédiaires existent : les anciens ouvriers de forges prétendent que la mine rouge rend 9 à 10 p. 100 et que la mine grise fournit jusqu'à 16 et 18 p. 100; ce sont là, en effet, les deux teneurs extrêmes qui se présentent dans nos pays, sans d'ailleurs qu'il y ait une relation bien précise entre les colorations et les rendements.

Les minerais dont nous nous occupons n'ont jamais été exploités, de Châtillon à Neufchâteau, que là où ils sont tout à fait superficiels. On enlevait seulement une couche

de terre végétale très-pauvre en grains de minerais, sur une épaisseur de $0^m,30$ à 1 mètre, puis les parties plus basses étaient tirées à ciel ouvert et lavées le plus souvent sur place. On suivait de préférence les directions où le banc semblait s'épaissir, et l'on attaquait avec plus de vigueur que les autres les points où la teinte grisâtre de la couche promettait un rendement un peu supérieur à celui des bancs rouges. Dans le sud du département, près de Vaux-sous-Aubigny, on extrayait la mine par petits puits; elle paraît mieux en place dans cette région et se présente généralement accompagnée de très-nombreux fossiles.

Jusque vers 1860, de nombreux ateliers de lavage traitaient ces minerais et approvisionnaient beaucoup d'usines. Cependant l'importance de ces minières avait déjà diminué depuis 10 ans. Comme pour toutes les usines métallurgiques, il y a eu plusieurs périodes successives d'activité et de ralentissement : l'absence des crasses de forges à bras dans les bois de la région du minerai dont nous nous occupons semble montrer que les plus anciens forgerons négligeaient cette catégorie de terre à mine et lui préféraient celles des environs de Saint-Dizier, d'Eurville, et même de Nogent : le motif de cette différence tient sans doute à ce que, dans les temps primitifs de la sidérurgie, la couche oxfordienne avait passé inaperçue. Ce n'est guère qu'au XIIIe et XIVe siècle que nous rapportons le rapide développement de ces minières. Par la comparaison des crasses de forges que nous avons vues, nous sommes porté à supposer que cette fabrication a pris naissance aux environs de Saint-Blin, Liffol-le-Petit, Prez-sous-Lafauche, Manois, en s'étendant rapidement ensuite vers Rimaucourt, Bologne, Riaucourt, dans le courant du XIVe siècle. A la fin de cette période, il y avait de très-nombreuses usines dans cette région, et quelques-unes ne manquaient pas d'importance : nous citerons notamment celle qui existait à moitié chemin entre Riaucourt et Bologne, et qui a disparu

avec la plupart de ces congénères, vers la fin du xve s
probablement; seulement celle-ci présente ce cara
particulier de n'avoir pu renaître de ses cendres, un s
plus tard, en même temps que les autres, ce qui perm
la juger complétement et même de se rendre compte
fixité du procédé de fabrication qui y a été employé
dant la durée de son existence.

Lors de la renaissance de ces usines, l'emploi des min
d'alluvion oxfordiens s'est étendu beaucoup plus au
et des forges se sont créées successivement, puis des h
fourneaux, à Orges, Châteauvillain, Chevrolay, Cou
Arc-en-Barrois, etc., pour consommer les charbons de
du pays, en amenant aux usines les mines de Latr
Créancey, Bricon, toujours lavées sur place. Ce sont
leurs ces minerais et les fontes qui en provenaient qu
donné lieu à la création des forges de Châtillon, de
villiers et de Moirons, tandis que, plus au nord, les min
de Jonchery, Euffigney, Marault, etc., alimentaien
usines de Condes, Brethenay, Riaucourt, Bologne, Ri
court, Montot, Manois, Ecot; une bonne partie du fer
consommée à Nogent et Langres, pour la coutellerie.

Grâce à la facilité de fusion des minerais lavés de
provenance dans les petits hauts-fourneaux au charb
bois, on les employa de plus en plus à cet usage, et
portance des exploitations s'accrut successivement ju
vers 1840, moment qui représente le maximum d'empl
minerais miliaires. Depuis cette époque, au contraire
avantages ont cessé de compenser, d'une part, la mau
situation topographique des usines, de l'autre, la diffi
de laver, sans trop de frais généraux, des terres qui ne
fermaient que 12 p. 100 de minerai en moyenne; aus
minières ont-elles disparu l'une après l'autre, et il n'
plus que celles de Marault, où l'on tire une partie
ment de la consommation des hauts-fourneaux de Riau
Mais la moindre amélioration des voies de transport

venant à cette usine y amènera à trop bas prix les mines de la Blaise et de la Meurthe pour que les dernières minières de Marault puissent lutter avec la moindre chance de succès.

La quantité de fer renfermé dans ce gisement est cependant assez considérable : nous admettons qu'on en a tiré jusqu'ici environ 1 million et demi de tonnes de minerais lavés représentant 500.000 tonnes de fonte, et qu'il en reste 5.000 hectares avec 1 mètre de couche à 10 p. 100, soit 5.000.000 de mètres cubes de mine lavée ou 2 millions et demi de tonnes de fonte, quantité qui forme à peu près le tiers de ce qui reste disponible dans tous les gisements ferrifères du nord du département. Mais il est supposable que ces minerais ne seront pas utilisés avant l'épuisement de tous ceux que peuvent fournir l'ouest de l'Europe et le nord de l'Afrique : c'est dire qu'ils ne peuvent pas entrer en ligne de compte dans l'évaluation de nos richesses.

Nous donnons ici les analyses de divers échantillons de mine bien lavée provenant des terrains anciennement exploités ; on y reconnaîtra que les mines oxfordiennes compteraient parmi les meilleures ressources métallurgiques du pays sans leur pauvreté au lavage. Les fontes qu'elles produisent, avec addition d'une faible proportion de minerais alumineux, de Wassy, par exemple, sont remarquables par l'absence presque complète du soufre et du silicium, mais elles sont sensiblement phosphoreuses.

	ORGES.		CRÉANCEY.	BRICON.	BLESSONVILLE.
	Mine grise.	Mine rouge.	Mine noire.	Mine grise.	Mine rouge.
Eau, acide carbonique	18,0	15,3	17,6	16,1	15,2
Silice	8,3	4,9	7,7	6,3	6,9
Alumine	3,9	5,4	1,1	10,0	3,6
Chaux	6,7	1,6	5,0	3,9	1,7
Peroxyde de fer	62,5	72,0	67,0	63,0	73,2
Peroxyde de manganèse	2,0	1,0	2,0	1,0	»
Totaux	101,4	100,2	100,4	100,2	100,6
Fer	43,75	50,40	46,9	44,2	51,2

VI. — TERRAIN PORTLANDIEN.

Minerais remaniés. — Sur les plateaux qui dominent Marne et la Thonnance, aux environs de Joinville, on ren contre des minerais d'excellente qualité dont l'origine et date sont fort incertaines : nous reviendrons sur cet question après l'examen des gisements du néocomien inf rieur. Ils ont pour caractère commun de se trouver fo irrégulièrement distribués dans des fissures ou dans d cavités des calcaires portlandiens. Leur texture est loi d'être uniforme. Généralement ils forment des croûtes pe épaisses, mélangées d'argile et de carbonate de fer impu souvent brisées en menus fragments, au moins en appa rence, par des remaniements postérieurs à leur dépô parfois fermés en forme de boîtes plus ou moins cubiqu ou sphériques et renfermant des noyaux sableux, argileu ou carbonatés, toujours assez chargés de fer intimemen mélangé et de petits grains oolithiques. On trouve aus beaucoup de ces grains dans le banc d'argile où les mo ceaux de minerais sont plongés. Sur d'autres points, minerai mélangé à l'argile ne présente plus qu'exceptio nellement la structure géodique, et se compose surtout d morceaux irréguliers à pâte oolithique; c'est ce qui s passe surtout vers l'est de cette région minière, et cet zone est peut-être en relation avec des dépôts oolithiqu analogues placés à Germay; du reste, nous verrons pl loin que le minerai en place du néocomien inférieur pré sente lui-même des irrégularités très-analogues.

La région minière du portlandien est traversée par un faille qui est très-apparente au-dessus de Poissons, où el déprime de 40 mètres la partie est du terrain. La directio de cet accident est N. 40° O., elle disparaît dans un partie de la vallée de la Thonnance, qui présente la mêm direction, et on la retrouve beaucoup moins accusée ve

le nord, en se dirigeant vers le bois de Châtillon ; au sud de Poissons elle n'est pas prolongée directement, mais associée à de petits accidents qui lui sont parallèles.

La faille est remplie d'un amas coufus de minerais géodiques, de masses d'argiles, de fragments de pierre recouverts de calcite, tantôt en petits cristaux, tantôt en baguettes cristallines groupées en masses compactes de plus d'un décimètre d'épaisseur ; le tout forme un amas de plusieurs mètres de puissance, percé de cavités produites sans doute par le lavage de l'argile entraînée par les eaux pluviales. Dans la faille, on a exploité plusieurs poches riches en minerai, mais sans pénétrer très-profondément, ce qui eût exigé quelques travaux de boisage de soutènement, faute de roches franches pour soutenir les parois des puits. Dans ces exploitations, on a trouvé beaucoup de fragments de bois minéralisé, entourés d'une croûte de calcite, et plusieurs débris d'éléphas primigénius ; sur le prolongement nord de la faille, au bois de Châtillon, on n'a rien encore aperçu de semblable, et la faille disparaît au milieu des cavités qui renferment la mine.

Le minerai de fer se trouve sur les plateaux jusqu'à quelques kilomètres de chaque côté de la faille, sans que celle-ci paraisse influencer son gisement ni sa composition. Mais comme les diverses exploitations présentent des caractères différents, nous avons à les examiner successivement.

Au sud-est de Montreuil, dans la forêt de la Saunaire, on rencontre des amas puissants qui jouissent en ce moment d'une haute faveur et donnent lieu à des exploitations de quelque importance. Le minerai occupe, dans les assises supérieures du portlandien, des cavités de plusieurs mètres de profondeur, dont les parois sont en partie réduites à l'état d'amas de pierrailles et dont la forme est arrondie, mais avec une longueur qui paraît dirigée vers le nord-est, c'est-à-dire à peu près perpendiculairement à la faille de Poissons : la

grande irrégularité de ces cavités ne permet guère de leur assigner une orientation précise. Elles sont remplies d'une terre rouge, renfermant le minerai sous forme de cailloux à structure oolithique, mélangés de fragments géodiques, d'une apparence polyédrale à angles arrondis, faciles à séparer, par lavage, de l'argile qui les englobe, et restant alors mélangés à 1/5e de mine en petits grains oolithiques. Le banc atteint fréquemment 6 mètres d'épaisseur; il rend 40 p. 100 au lavage et fournit un minerai à 45 p. 100 de fer, capable de produire au charbon de bois des fers très-purs, sans soufre ni phosphore, d'une très-grande malléabilité. On a là un échantillon des meilleures qualités de minerais à fers forts, très-estimés dans le commerce, autrefois surtout, particulièrement pour la chaîne et la clouterie. L'établissement de quelques chemins d'exploitation rend aujourd'hui les transports de Montreuil moins coûteux que ceux des autres minières des environs, mais, malgré cela, la tonne de ce minerai lavé revient à 15 francs au moins aux usines les plus rapprochées.

Dans cette forêt, le minerai paraît provenir d'un remaniement de bancs oolithiques dont les débris auraient été amenés par les eaux dans les cavités creusées antérieurement à la partie supérieure des roches portlandiennes. Aucune recherche n'a encore montré si les poches de Montreuil se prolongent, en profondeur, au-dessous des amas jusqu'ici exploités. La forme générale des cavités ne le fait pas supposer *a priori;* cependant, comme les travaux analogues de Châtillon s'enfoncent profondément, il est possible que l'on rencontre tôt ou tard quelques fissures en continuant à enlever le minerai, et il sera alors intéressant d'examiner si le minerai contenu dans ces fissures est plutôt géodique qu'oolithique.

Au nord-ouest de Montreuil, après avoir passé les hautes minières de la Houpette, on trouve, dans les vallons qui descendent sur Osne-le-Val, de grands amas puissants de

minerai de fer, qui présentent beaucoup d'analogie avec ux de Montreuil, comme disposition, mais où la mine se sente plutôt avec la structure géodique ; la mine parait, occuper des cavités dont le grand axe serait dirigé 30° E., mais il est bien difficile d'y relever une direcn ayant une importance sérieuse. La surface seulement ces amas a été attaquée sur une épaisseur de 8 ou mètres, et l'on ne sait s'ils s'enfoncent plus bas en forme fissures : le fait y est cependant beaucoup plus proble qu'à Montreuil, parce que les hautes minières de la upette sont très-voisines et lancent, sous cette forme, s ramifications vers ces gisements miniers.

Un peu plus à l'ouest, et dans la direction même de la faille Poissons, on tombe sur les minières du bois de Châtillon ; encore, les minerais remplissent de larges cavités peu gulières ; mais elles sont nettement parallèles, pour la plurt, à la direction N. 51° E., c'est-à-dire sensiblement rpendiculaires à la faille de Poissons, tandis que les fisres étroites qui les réunissent sont dirigées en général nord-ouest. La mine exploitée présente les traces d'un and bouleversement ou remaniement, car on trouve des ints où l'amas de minerai est partiellement recouvert de artiers de roche ou de grosses pierrailles accumulées ; aperçoit aussi dans les coupes des masses d'argiles in'calées entre les parties exploitables. Quant à celles-ci, es peuvent rendre 25 p. 100 d'un gravier formé de débris odiques, dont la dimension ne dépasse pas 1 décimètre rré ; le minerai lavé est d'ailleurs d'excellente qualité, t analogue, comme valeur, à celui de Chatonrupt.

Les travaux d'exploitation sont très-superficiels en beauup de points où l'on ne pourrait guère se douter de la sposition sous-jacente : mais en certaines places, après oir enlevé, 8, 10, 12 mètres de terre à mine à ciel ouvert, a été entraîné à creuser de petits puits là où la mine raissait le plus riche et où le voisinage d'un rocher per-

mettait d'espérer une paroi solide. On a constaté ainsi que le gisement pénétrait dans des fissures de la roche, et, sans que l'on soit d'ailleurs descendu très-bas, il est devenu évident que la disposition du gîte, en profondeur, est la même qu'aux hautes minières, placées à 3 kilomètres à l'est, et que sur le plateau de Poissons. Il est d'ailleurs à remarquer qu'en se dirigeant vers les hautes minières, on trouve tous les intermédiaires entre le type à large ouverture superficielle et le type des fissures plus régulières que nous examinerons bientôt.

De l'autre côté de la Marne, sur sa rive gauche, au-dessus de Chatonrupt, on rencontre aussi de grands amas de minerai géodique en fragments, placés dans les cavités du calcaire portlandien; mais la disposition est encore plus irrégulière qu'à Montreuil et à Châtillon, et consiste en une série de pots, d'une profondeur qui ne dépasse guère 12 mètres, et qui paraissent nettement terminés en forme parabolique à la partie inférieure. De plus, le minerai ne parvient plus, ici, jusqu'à la surface même du sol; il est recouvert par une couche argileuse, d'une épaisseur de 1 à 3 mètres, qui paraît représenter le néocomien inférieur : il en résulte que la disposition du minerai se rapproche beaucoup de celle des minières en place du néocomien inférieur et n'en diffère que par l'absence d'une zone argileuse ou sableuse régulière entre le calcaire portlandien et la terre à mine. Le minerai extrait à Chatonrupt a joui d'une si grande faveur dans l'industrie du pays, que ce beau gisement est complétement épuisé.

La partie la plus intéressante et la plus curieuse du gisement est formée par les hauts plateaux de Montreuil et de Poissons. Elle occupe au-dessus de Pansey le lieu dit du Haut de Gillancourt; au-dessus de Montreuil, au nord, les terrains voisins de la ferme de la Houpette : au sud de la vallée de la Thonnance, elle commence au bois du Laiçon, à 2 kilomètres des minières de la Saunaire, s'étend

des deux côtés de la faille de Poissons, et se montre encore au sud, des deux côtés de Noncourt. Le fond des valest occupé par les argiles kimméridgiennes. Au-dessus es, s'élève une masse calcaire de 90 mètres de hau, uniquement composée des roches portlandiennes, lièrement placées sur leurs assises presque horizon-, commençant à la base par des calcaires lithograues assez durs quoique notablement argileux, et conant par des bancs de plus en plus gélifs jusqu'au net. Le calcaire supra-jurassique n'existe pas partout ;es plateaux et ne se présente qu'au nord-est, aux en-1s de la ferme de la Houpette; il y est très-peu devé-é, tandis que plus loin, au nord, il fournit les magni-;s carrières de Chevillon, Eurville, Savonnières, etc.
;s couches portlandiennes présentent à leur partie su-;ure des fissures dont le grand axe moyen est sensi-ient perpendiculaire, et, plus rarement, parallèle à la ; de Poissons, au moins pour les plus grandes; ces ;s sont très-peu régulières dans leurs dimensions. Les ont 4, 5, 6 mètres de largeur à l'embouchure, d'ausont à peine sensibles. La même fente a des largeurs variables suivant les divers points de son parcours; ent une fente, même large, disparaît par rétrécisset à une faible profondeur: d'autrefois elle est divisée eux branches par une lame de roche presque verticale, ien encore elle se ramifie en direction pour disparaître tôt complétement, ou, au contraire, pour reprendre de)ortance un peu plus loin.
en n'est donc moins régulier que la forme générale es fissures; elles ont cependant un faciès très-parti-;r auquel il est impossible de se méprendre : leurs pasont presque absolument verticales, et, en plan, leurs es sont légèrement ondulées avec une semi-régularité, is que, suivant la verticale, toutes les assises de pierre)rtent sous forme bombée. On reconnaît là la dispo-

sition de toutes les roches calcaires attaquées par les eaux et corrodées par leur action prolongée : il paraît donc évident que les fissures ont été soumises à des corrosions lentes qui, sans doute, ont agi suivant les cassures naturelles dues à des mouvements antérieurs.

Certaines de ces fentes s'élargissent à leur partie supérieure et prennent un aspect qui les rapproche des grandes cavités superficielles analogues à celles de Montreuil (La Saunaire) ; dans ce cas, la recherche et l'enlèvement du minerai se sont souvent arrêtés au premier rétrécissement rencontré.

On a pénétré, dans quelques-unes de ces fentes, jusqu'à une assez grande profondeur ; nous y sommes descendu à 55 mètres, pour visiter des travaux, et sans apercevoir de sensible modification dans la disposition des parois ni des minerais. Mais jusqu'ici personne n'a traversé la totalité de l'épaisseur des terrains portlandiens pour aller s'assurer de l'allure du gisement à son arrivée sur les marnes kimméridgiennes. Cela est infiniment regrettable et empêche d'évaluer exactement les ressources minières de ces gisements. Peut-être les fentes s'arrêtent-elles avant la base du terrain portlandien, peut-être, au contraire, s'y épanouissent-elles en forme de grottes. Grâce à la hauteur de ces grottes au-dessus du fond des vallées, l'exploitation y serait très-facile au moyen d'une galerie de roulage et d'assainissement à la fois. Nous avons souvent engagé les industriels du voisinage à tenter sérieusement une pareille exploration, c'est-à-dire à continuer un puits jusqu'à 80 ou 90 mètres, puis, une fois les argiles rencontrées, à lancer une galerie à leur surface, dans la direction du nord et à la faire percer dans le flanc du côteau. Mais personne ne s'est encore décidé à risquer cette dépense, en présence de l'incertitude qui règne sur la concessibilité d'un pareil gisement, et nous le regrettons, car il s'agit là de quantités considérables du meilleur minerai de nos pays ; de plus

'ichesse de rendement au lavage augmente sensiblement profondeur, et les frais d'extraction, de boisage et de ısport arrêtent seuls les puits les plus profonds, vers à 60 mètres.

.a partie supérieure du gisement a été enlevée à peu s partout jusqu'à une profondeur de 30 mètres en yenne; elle a fourni 1 million de tonnes de minerais ès, chiffre que l'on obtient en se basant sur la produc- ı des usines qui consomment et qui consommaient ce ıerai. Il en reste au moins autant dans les fentes des ndes minières de Montreuil et de Poissons, très-peu à tonrupt et dans les gisements du nord-est de Montreuil. ıt donc un stock de 2.500.000 tonnes de minerais ts, pouvant rendre au moins 1 million de tonnes au ıge, qui paraissent destinées à un abandon prochain. t-être même y en a-t-il bien davantage, si les fentes ıanouissent sur les marnes kimmeridgiennes.

es minerais ont été exploités de tous temps sur presque .e la surface où ils existent, sauf à Chatonrupt. Les ;es à bras ont enlevé les parties supérieures ; on peut poser, par comparaison avec les rares gisements intacts nous avons vu attaquer, que la richesse au lavage, à e époque, ne devait pas dépasser 25 p. 100; sans doute ne les forgerons du temps passaient-ils au crible les luits du lavage pour n'employer que les fragments plus .es à traiter au bas foyer; puis de nombreuses usines ont consommés jusqu'à de grandes distances et en ntités sans cesse croissantes jusqu'en 1855; nous pou- ; citer les hauts-fourneaux qui les employaient en 1845, ıient :

la Marne . Froncles, Donjeux, Joinville, Bussy.
le Rognon : Écot, Lacrète, Manois, Rimaucourt, Montot, Roches r Rognon, Doulaincourt, Saucourt.
le Rongeant : Noncourt, Poissons, Thonnance.
le ruisseau de Curel : Osne le Val et Curel.

Sur la Saulx : Échenay, Paroy, Montier sur Saulx.

Sur la Meuse : Bazoilles, Sionne, Villouxel, Vrécourt, Bonnet, Abainville, Dinville.

Aujourd'hui, les fourneaux de Paroy, Bussy, Osne-le-Val, et Riaucourt sont les seuls qui conservent des exploitations, destinées probablement à disparaître bientôt, en présence de l'approfondissement des gîtes et des facilités de transport d'autres provenances ; l'augmentation de rendement au lavage compense, il est vrai, la première difficulté, mais la seconde s'accroît sans cesse, au fur et à mesure du développement des voies de communication. Cependant la partie du gisement la plus facile à extraire et la moins entamée anciennement, celle de Montreuil, jouit, en ce moment, d'une faveur spéciale et fournit d'assez grandes quantités de minerais.

Voici quelques analyses de ces minerais.

	MONTREUIL.	POISSONS.	PANSEY.	CHATONRUPT.
Perte au feu	15,2	12,4	13,5	17,7
Silice	8,5	5,3	13,3	6,6
Alumine	12,8	9,9	5,1	1,6
Chaux	1,0	1,3	1,6	3,3
Peroxyde de fer	64,0	72,2	64,8	70,8
Totaux	101,5	101,1	98,3	100,0
Fer	44,3	50,5	44,8	47,3

VII. — TERRAIN NÉOCOMIEN INFÉRIEUR.

Minerais géodiques en place. — La couche qui fournit cette variété s'étend dans la Haute-Marne à partir de Morancourt jusqu'à Bettancourt-la-Ferrée. Elle occupe une surface importante sur le plateau portlandien compris entre la Blaise et la Marne, et reparaît à l'est de cette rivière, vers Eurville, Ancerville et Chancenay.

Cette couche est fort irrégulière, ainsi que toute la partie

inférieure du terrain néocomien; elle présente de grandes lacunes et des variations singulières d'aspect et de qualité.

A son extrémité nord-est, aux minières de Clefmont, d'Ancerville, de Surbée et de Bettancourt-la-Ferrée, on la trouve en gisement régulier, d'une puissance de 2 à 4 mètres, mais interrompue par des lentilles stériles, sans modification de l'allure générale du gisement. Elle est recouverte par un banc épais de calcaire à spatangues et séparée des calcaires portlandiens par une zone de sables et d'argiles assez notable; on la retrouve à peu près analogue autour de Vallerest, près de Wassy, seulement le banc de calcaire à spatangues est alors bien moins développé. Dans le reste de la région reconnue, à Morancourt, Nomécourt, Mathons, Magneux et Flornoy, on rencontre cette même couche, mais sans banc calcaire; elle y est beaucoup moins régulière et disposée en amas lenticulaires, sans jonction entre eux : c'est là une des circonstances qui en rendent l'exploitation difficile, coûteuse et aléatoire; enfin à Villiers-aux-Bois et à Prez-sur-Marne elle présente une certaine constance sur une grande surface, mais sans calcaires, et au lieu de prendre la forme de fragments, de croûtes géodiques, elle est en petits grains noirs ou grisâtres, faiblement agglomérés en masses compactes, sans interposition d'argiles, mais fort siliceuses et assez sulfureuses. Ces variations nous obligent à examiner séparément ces diverses régions.

Les minières d'Ancerville et de Clefmont, auprès de Saint-Dizier, n'ont pas été attaquées bien anciennement; depuis dix ans, au contraire, l'exploitation y a été poussée rapidement; les minières de Clefmont ayant rencontré une partie stérile ne présentent plus guère de ressources d'avenir; celles d'Ancerville renferment encore beaucoup de minerais exploitables. Elles comprennent toutes un banc de 4 mètres environ, formé de croûtes ferrugineuses horizontalement disposées en majeure partie, et mélangées à

beaucoup d'argile et de sables, avec interposition de lentilles de fer carbonaté lithoïde et très-peu de grains oolithiques. Après lavage, elles fournissent un minerai d'assez bonne qualité, un peu siliceux et notablement sulfureux, facile à fondre et renfermant environ 43 p. 100 de fer métallique; le rendement au lavage, bien qu'assez variable, est voisin de 40 p. 100. Ces bancs miniers sont fort analogues aux minerais bruts contenus dans les fissures de Montreuil et de Poissons, dont nous avons parlé ci-dessus; mais la disposition des croûtes ferrifères y est beaucoup plus régulière, et leur mélange avec les lits d'argile est un peu plus intime : la masse est aussi bien plus chargée en sable siliceux.

Les minières de Vallerest avaient été si bien oubliées jusqu'à ces dernières années qu'on les croyait vierges de tout travail antérieur, et les chercheurs de minerais ont été fort déçus quand ils sont arrivés à de nombreuses galeries souterraines, datant sans doute, en partie, du XVIe siècle, où le minerai avait été enlevé, sauf la partie la moins riche. Le sol de ces galeries et des excavations qui en dépendent est couvert d'un résidu minier, encore riche, formé des zones qui renfermaient le plus de grains fins. Les anciens explorateurs recherchaient donc surtout, pour les consommer après lavage, les croûtes ferrugineuses dures qui leur fournissaient une matière plus pure et plus facile à traiter. Du reste, malgré ces déceptions, il reste beaude minerais à Vallerest, et la partie la plus superficielle du gisement n'a même été enlevée que partiellement. Aujourd'hui, de grandes exploitations y sont entreprises à ciel ouvert et par puits, grâce à la faveur dont jouissent ces excellents minerais; une partie seulement des bancs a besoin de lavage et fournit de la mine à 50 p. 100 de fer, le reste peut être employé brut, avec une teneur de 40 p. 100. Dans cette région, le calcaire à spatangues ne forme plus qu'un banc mince de 0^{m},40 d'épaisseur qui

suffit cependant à donner de la solidité au toit des galeries et permet ainsi d'importantes économies de boisage. Les explorations ne sont pas complètes à Vallerest; elles ne s'étendent qu'au nord-est du village, et l'on ignore si le banc se continue avec sa puissance de 3 mètres sous le village même, dont la présence, d'ailleurs, rendra l'exploitation difficile, à moins de travailler avec remblais, ce qui est contraire à toutes les habitudes actuelles du pays.

A Surbée, auprès d'Eurville, au milieu de terrains stériles, on a trouvé la même couche bien développée, de bonne qualité, mais sans calcaire à spatangues, sur une surface de 6 hectares, et, après quelques travaux par petits puits, on l'a attaquée par une galerie de roulage qui s'enfonce à 200 mètres horizontalement, et qui atteint aujourd'hui les limites du gisement, complétement isolé. Cette belle couche, de 2 mètres de puissance, qui rendait au lavage 50 p. 100 environ de bon minerai, est donc sans avenir et aura prochainement disparu complétement.

Des recherches entreprises à Prez-sur-Marne, au sud d'Eurville, ont fait retrouver encore la couche, réduite à 1 mètre, et avec des caractères sensiblement différents; la qualité est inférieure, grâce au soufre et à la silice qu'elle renferme, et une partie seulement présente le caractère géodique : le reste est oolithique. Cette transformation se complète en allant vers le nord-ouest, et, de l'autre côté des côteaux d'Eurville, on trouve, à Villiers-aux-Bois, la couche néocomienne inférieure presque exclusivement oolithique. Dans ce dernier gisement, on a reconnu son existence sur une grande surface, par de petits puits; elle présente une puissance de 3 à 6 mètres sur une étendue de 2.000 hectares peut-être; elle est formée d'une masse presque uniforme de grains oolithiques faiblement agglomérés, d'une teinte grise un peu verdâtre; elle renferme beaucoup de sable siliceux impossible à séparer par lavage, et ne pourrait être employée qu'après un simple triage

fournissant un minerai à 30 p. 100 de fer, 18 à 20 p. 100 de silice, et très-sensiblement sulfureux. C'est donc un minerai de mauvaise qualité, sans usage possible aujourd'hui; cependant, nous avons tenu à indiquer la présence de ce gisement, moins pour son importance actuelle que pour les ressources que l'on pourra peut-être en tirer plus tard. Mais quand on l'attaquera, ce ne pourra guère être sous forme de minière, à moins de créer un syndicat des propriétaires; car le terrain est rempli d'eau, et il faudra leur donner un écoulement par la création d'un canal d'assainissement dirigé vers le nord-ouest, dans la direction de la Blaise, par le ruisseau des Aulnaies; canal qui devrait alors être exécuté de manière à servir en même temps de voie de transport; et cette grande entreprise ne serait possible que par les soins du détenteur de tout le gisement.

Restent enfin celles des minières qui ont joui et jouissent encore d'une haute réputation comme qualité, celles de Morancourt, Mathons, Guindrecourt, Magneux, Fays, Nomécourt, Sommancourt, Maizières, Avrainville, Breuil, Fontaines, Gourzon et Bettancourt-la-Ferrée; elles ont été employées de temps immémorial, et les crassiers de Flornoy, Magneux, Bettancourt, etc., sont là pour en témoigner.

Cependant leur recherche n'a pris de l'importance qu'à partir de 1835. Elles occupent, sauf les lacunes, presque tout le plateau compris entre la Marne et la Blaise, de Doulevant à Joinville et à Eurville, c'est-à-dire une surface de 6 à 8.000 hectares, formant les affleurements du néocomien inférieur, sans compter les environs de Bettancourt. Aucune recherche n'a été tentée pour retrouver cette couche de minerais à l'ouest de la Blaise, à 30 ou 40 mètres en contre-bas de la couche supérieure qui y est exploitée. Il serait cependant assez facile d'y parvenir dans les bas-fonds des environs de Wassy, de Vaux-sur-Blaise et de Louvemont; mais en présence de la certitude d'avoir à lutter avec les eaux, par suite de l'inclinaison de la couche, cette étude n'a attiré

l'attention ni les efforts d'aucun industriel. Dans la région reconnue, on trouve le minerai sous forme d'amas lenticulaires, d'une puissance qui n'atteint nulle part 5 mètres ; la
est en fragments polyédraux, à angles émoussés,
nt provenir d'un remaniement, et non sans analogie
s minières placées à l'ouest de Montreuil (voir plus
parfois le gisement est presque pur et rend 65 et
70 au lavage ; mais, en général, il est très-mélangé
e et ne rend plus que 35 à 40 p. 100. Ce dernier
représente à peu près la moyenne. Après le lavage,
un gravier très-propre, à teneur de 55 p. 100 de
esque entièrement dépourvu de soufre, et peu si-
Dans quelques lentilles, cependant, on trouve du
en abondance ; la mine perd alors toute valeur,
fait se présente rarement.

ploitation des minerais du néocomien inférieur a été
usqu'au commencement du siècle ; elle s'est ensuite
progressivement, mais son grand développement
eulement de 1835. Jusque-là, ces minières n'avaient
re pas fourni 500.000 tonnes de minerais bruts ; de-
rs, on en a tiré environ 180.000 tonnes par an. Elles
nc produit en tout, jusqu'ici, 7.700.000 tonnes de
is bruts ou 3.000.000 de tonnes de minerais lavés.
us croyons que cette consommation a absorbé en-
es deux tiers des gîtes utilement exploitables ; il res-
donc dans le sol 3.500.000 à 4.000.000 de tonnes
ierais bruts qui auront disparu d'ici à une trentaine
es, à moins que des circonstances extérieures ne
nt achever d'étouffer, d'ici-là, la métallurgie haut-
ise.

s cette quantité ne sont pas compris les gisements de
-aux-Bois, qui ne seront pas touchés de trop long-
pour entrer ici en ligne de compte ; quant à la com-
n des minerais du néocomien inférieur, elle est re-
tée par le tableau des analyses suivantes :

Minerais géodiques ordinaires.

	BETTANCOURT.	CLEFMONT.	ANCERVILLE.	MORANCOURT.
Perte au feu. . . .	18,8	17,5	17,1	15.6
Silice.	9,7	15,7	12,9	10,6
Alumine.	11,6	6,4	10,6	12,4
Chaux.	2,3	1,0	1,4	»
Peroxyde de fer. .	54,8	55,5	57,1	62,0
	97,2	96,2	99,1	100,6
Fer.	37,7	38,5	39,9	43,3

Minerais exceptionnels.

	VALLERREST carbonaté.	BETTANCOURT.		ANCERVILLE.
Perte au feu. . . .	33,7	27,3	31,8	34.9
Silice.	8,6	10,8	5,5	9,6
Alumine.	8,3	9,4	6,6	4,2
Chaux.	5,6	3,3	3,4	21,5
Peroxyde de fer. .	»	20,2	11,6	»
Protoxyde de fer.	40,7	28,7	40,0	31,2
	96,5	99,7	98,9	101,4
Fer.	31,5	36,2	38,8	24,1

Relations des minerais des deux catégories. — Nous avons vu combien sont variés les gisements placés dans les cavités des calcaires portlandiens, ou à la base des terrains néocomiens. Dans toute la région où ils existent, nous n'avons trouvé que vers le nord, à Villiers-au-Bois et à Ancerville, une couche de minerai passablement régulière, mais d'ailleurs absolument différente, puisque le minerai de Villiers-au-Bois est composé d'oolithes fines, cimentées par de l'argile en forme de masses compactes et homogènes, tandis que celui d'Ancerville et de Clefmont est un mélange de petits bancs d'argile et de sables et de plaquettes géodiques assez minces, horizontales en majeure partie. Au-dessous du minerai, l'allure des couches est inconnue à Villiers-au-Bois; à Clefmont, au contraire, on constate que le minerai repose sur des argiles jaunes sableuses qui alternent avec

ıelques petits bancs de calcaires; ceux-ci se développent peu, entre les autres bancs, avant la surface du calcaire ɪrtlandien, et l'épaisseur totale de la masse interposée, du ınerai au portlandien, s'élève à une quinzaine de mètres. plus, les bancs du néocomien sont sensiblement horintaux, tandis que ceux du portlandien plongent de 5° viron vers le nord-ouest; il y a donc discordance de ratification bien nette entre les deux terrains; il y a eu même temps disparition des assises du supra-jurassique i se présentent sur la crête des côteaux d'Eurville et de evillon. Même dans cette région relativement régulière, faut admettre une dénudation importante du terrain rtlandien et des érosions assez étendues, qui auraient écédé le dépôt du néocomien inférieur.

Sur le plateau de Morancourt, Nomécourt, Guindrecourt, ıthons, le minerai reste encore séparé des roches portlanənnes par des couches argilo-sableuses; mais celles-ci t une épaisseur moindre; elles occupent, non plus une rface à peu près plane, mais des dépressions d'étendue riable, creusées dans les assises portlandiennes sans ute par les mêmes érosions qui ont fait disparaître le pra-jurassique dans toute cette étendue; il faut par suite mettre que les argiles du néocomien ont été amenées, rès ces érosions, en assez faible quantité pour ne pas mbler complétement les excavations. Elles ont conservé es-mêmes la forme de coupoles où sont venus se déposer s minerais géodiques en fragments, réunis dans les basnds, sans doute par suite de l'agitation des eaux, et laisnt entre eux des parties stériles. La forme de ces fragənts peut faire supposer qu'après un premier dépôt de ınerai effectué tranquillement, et plus ou moins analogue x couches de Clefmont, le banc a été repris par des mouments d'eaux et lavé sur place dans les déclivités du rain sous-jacent.

A Chatonrupt la disposition est fort analogue, seulement

la couche de marnes placée au-dessous du minerai est réduite à fort peu de chose, les trous sont plus profonds, et le minerai au lieu de former des lentilles de 2 ou 3 mètres d'épaisseur et d'un assez grand diamètre horizontal, occupe des pots de 12 mètres de profondeur et d'une largeur assez faible à l'orifice; de plus, cet orifice est allongé dans une direction indéterminée : enfin une couche continue de terre à mine de quelques décimètres réunit entre eux les pots et occupe une grande partie de la surface du terrain exploité.

A Montreuil, dans le bois de la Saunaire, tout intermédiaire entre la roche calcaire portlandienne et la terre à mine a disparu ; les poches creusées dans les calcaires sont apparentes, assez larges, peu profondes, mais elles diffèrent de celles de Chatonrupt par une orientation assez régulière à N. 45° E, dans le sens de leur longueur, et par la nature du minerai, plutôt oolithique que géodique.

A Châtillon, on retrouve les mêmes formes de fouilles qu'à Montreuil, une orientation plus nette encore à N. 51° E, un remplissage en fragments géodiques, des zones pauvres irrégulièrement distribuées dans la masse exploitée : mais des puits de 25 à 30 mètres de profondeur ont appris que le gisement s'enfonçait dans des fissures à peu près verticales situées dans les calcaires sous-jacents.

Sur le flanc Nord du plateau de la Houpette, même disposition qu'à Châtillon ; sur le plateau lui-même, ainsi qu'au Haut de Guillaumont, et des deux côtés de la faille de Poissons, le minerai commence à la surface même du sol et s'enfonce immédiatement dans des fissures à peu près verticales, d'une largeur de 1 à 3 mètres, à parois légèrement ondulées par l'effet de corrosions lentes; ces fissures sont orientées suivant la direction prédominante N. 50° E, plus rarement à N. 30° E et à N. 40° O; étudiées par des puits qui ont atteint jusqu'à 75 mètres de profondeur, elles ont été trouvées remplies sur toute cette hauteur de morceaux

éodiques de grandes dimensions, tantôt en boîtes inıctes, tantôt en plaquettes, mélangés de fragments plus etits et d'argile imprégnée d'oolithes; la richesse moyenne u fer s'accroît avec la profondeur, et des ossements d'éléhas primigénius ont été rencontrés à tous les niveaux ans ces fouilles. Aucun travail n'a été poussé assez loin our reconnaître l'allure du gîte quand il arrive au contact es marnes kimméridgiennes.

De l'ensemble de cet examen, nous sommes porté à con.ure que des mouvements violents du sol et de grandes rosions se sont produits après la formation des roches ortlandiennes et avant le dépôt du néocomien inférieur : es érosions ont eu pour résultat la formation de cavités ıperficielles dans les roches portlandiennes en même emps que de fissures sur toute leur hauteur, suivant des irections perpendiculaires à la faille de Poissons; les déôts du néocomien se sont effectués sur la surface, ainsi ıodifiée, en pénétrant dans les fissures, et les croûtes éodiques ou les dépôts oolitiques se sont formés pendant ne période de calme dans les argiles ferrugineuses, proablement par migration intime du peroxyde de fer; puis n premier remaniement du gisement ferrugineux a eu lieu ans certaines parties, sous l'influence de forces faibles, ındis que se déposaient les calcaires à spatangues sur les utres parties du banc ferrugineux; enfin un second remaiement accompagné d'une réouverture de la faille de oissons s'est produit à l'époque de l'éléphas primigénius, oit au commencement de la période quaternaire.

L'entraînement des argiles qui ont laissé des vides dans ı faille de Poissons, la formation de calcite cristallisée ans ces vides, et, plus rarement, dans les fissures minières u plateau, l'existence de grottes à la base de certaines arties des calcaires portlandiens, révélée par d'énormes ources dans la vallée de la Marne et ses annexes, ainsi que ur la haute Blaise, et par l'épuration subie pendant leur

trajet par les eaux sales absorbées par les gouffres des bocards du plateau de Morancourt, enfin la difficulté de comprendre le remaniement du minerai dans des fissures de plus de 75 mètres de hauteur sans un écoulement des eaux par la partie inférieure, nous font supposer que les fentes des roches portlandiennes sont en communication, à leur base, avec des grottes à peu près horizontales. Nous trouvons une nouvelle confirmation de cette hypothèse dans la découverte récente faite à Grachaux (Haute-Saône) de galeries naturelles horizontales percées dans le forest-marble, pleines de minerais, et en relation plus ou moins directe avec les fissures minières des environs, qui présentent une grande analogie avec les gisements de Poissons ; nous pensons donc qu'il existe d'importants amas de minerais géodiques au contact des marnes kimméridgiennes et des calcaires portlandiens. C'est en conséquence de ces remarques que nous avons classé les minerais du portlandien comme néocomien remanié ; on voit que tous les intermédiaires existent, que les gisements de Morancourt sont déjà un peu remaniés, et qu'il peut être embarrassant de classer les minerais de Chatonrupt dans l'une ou l'autre des catégories VI ou VII.

VIII. — TERRAIN NÉOCOMIEN SUPÉRIEUR.

Minerais oolithiques. — Les minerais de cette catégorie sont connus dans toute cette contrée sous le nom de minerais de Wassy. Appuyés partout sur des argiles sableuses veinées de rouge et de blanc et mélangées de grès ferrugineux au voisinage de la couche ferrifère, ils forment une couche régulière à la base des argiles aptiennes et sont exploitables sur presque toute l'étendue des affleurements de ce terrain, depuis Sommevoire jusqu'à Saint-Dizier ; mais la puissance du banc varie beaucoup dans cet inter-

valle, ainsi que sa qualité. Leur importance relative est considérable et mérite quelques développements.

Le point le plus oriental où ces minerais sont connus se trouve à Narcy, à l'est d'Eurville. Là, entre deux failles, se présente un lambeau de terrains crétacés inférieurs qui forme le fond du vallon, tandis que les calcaires portlandiens dominent de tous côtés. En ce point remarquable l'affleurement des argiles aptiennes occupe une cinquantaine d'hectares; la couche minière est une argile grise très-plastique où l'on aperçoit à peine quelques grains de minerai; cependant, au lavage, cette terre rend jusqu'à 40 p. 100 de mine. Le lavage est rendu d'ailleurs difficile par la plasticité de l'argile qui forme facilement des pelotes de la grosseur du poing, sur lesquelles l'eau serait sans action, sans un écrasement préalable qui s'exécute au bocard ou au cylindre; une grande quantité d'eau est nécessaire pour bien délayer l'argile, mais le délayage est complet, et l'on arrive à obtenir la mine parfaitement pure, sans en perdre beaucoup par entraînement. Elle se présente alors sous la forme de grains sphériques, réguliers, d'un millimètre de grosseur environ, complétement noirs, et composés de peroxyde de fer hydraté presque pur, à 50 p. 100 de fer un peu manganésé; c'est un minerai excellent, bien que faiblement phosphoreux, facile à fondre dans les petits hauts-fourneaux au bois, mais impossible à traiter dans de plus grands appareils, et surtout au coke, sans agglomération et sans mélange de fortes proportions d'autres minerais, sous peine de voir se produire, à chaque instant, des engorgements par chutes de mine, celle-ci coulant comme de l'eau dans les colonnes de coke quand elle n'y est pas arrêtée par le charbon de bois, qui laisse moins d'intervalles; d'ailleurs, la rareté et la difficulté du lavage de ce minerai ont toujours empêché de l'employer autrement que pour une faible part dans les lits de fusion de quelques usines. Connue depuis 20 ans,

la minière de Narcy a été promptement épuisée, il n'y reste plus que les parties du gîte les moins riches. Aujourd'hui, elle est complétement abandonnée; les maîtres de forges d'Eurville et Bienville ont trouvé que sa qualité ne compensait pas, au moins pour ce qui en reste, les difficultés de se la procurer, les frais de transport et ceux de lavage. En voici une analyse qui s'applique à un minerai incomplétement lavé, mais dont la teneur en manganèse nous paraît un peu anormale :

Peroxyde de fer	66,0
Sesquioxyde de manganèse	4,0
Carbonate de chaux	0,7
Silice	7,6
Alumine	4,0
Eau, etc.	17,7
	100,0

Laissant de côté ce point exceptionnel, nous allons suivre le gisement régulier, depuis Saint-Dizier, qui en forme l'extrémité nord-est, jusqu'à Sommevoire, où il quitte la Haute-Marne pour pénétrer dans l'Aube, en marchant vers le sud-ouest, le long des affleurements.

Entre Saint-Dizier, Eurville et Attancourt, s'étend, sur une surface de 5.000 hectares, un massif boisé qu'on appelle la forêt du Val, dont le centre est occupé par une clairière de 1.000 hectares, en contre-bas de 30 ou 40 mètres sur le reste du plateau, et qui renferme le village de Villiers-au-Bois, dont nous avons parlé pour ses minières du néocomien inférieur. Les 4.000 hectares de forêt sont formés presque uniquement, ou pour 4/5e environ, par les affleurements des argiles aptiennes, partiellement recouvertes au nord-ouest par un premier banc des sables verts. Le minerai de fer devrait se présenter sur toute cette vaste surface, mais il est loin d'en être ainsi : au nord-est, auprès de Saint-Dizier, on ne trouve que les faibles minières de la fosse Fadoue et de la Côte aux Chats, qui ont fourni quel-

ques centaines de mille mètres de minerais fort médiocres consommés jusqu'en 1870 par les usines du Clos-Mortier. Le banc, au-dessus de la vallée de la Marne, avait une puissance de $0^m,40$ à $0^m,50$ et renfermait des mines d'une richesse courante, à 40 p. 100 de teneur en fer après lavage, mais passablement chargées de gypse : ce même banc s'appauvrissait de plus en plus, se chargeait de gypse et de silice et diminuait beaucoup en marchant vers le nord-est, suivant le prolongement de la couche, aussi ces minières sont-elles aujourd'hui complétement abandonnées, et on peut les considérer comme épuisées.

En pénétrant plus avant au nord-ouest, dans la forêt, on ne trouve plus que des représentants insignifiants du banc de minerai; cependant, auprès des moindres ruisselets ou passages d'eau, sont accumulés des amas considérables de scories de forges à bras qui témoignent de longues et importantes opérations métallurgiques; on en remarque surtout en deux points : l'un, sans trace de constructions, près du carrefour de la Belle-Étoile; l'autre, plus au sud, au lieu dit Château-Ganne, auprès de restes de retranchements en terre, que recouvrent des bois identiques à ceux du reste de la forêt, et dont les dimensions accusent l'extrême ancienneté de ces travaux. Il faut supposer que les forgerons de cette époque ne reculaient pas devant la recherche et le lavage de couches insignifiantes, ou bien qu'ils transportaient en ces lieux les produits de minières assez éloignées pour les y traiter avec les bois coupés aux environs, ou enfin qu'ils ont enlevé la presque totalité du banc minier, d'ailleurs très-superficiel; de ces trois hypothèses, la dernière est invraisemblable, et la seconde nous paraît la plus probable.

Plus à l'ouest et au nord-ouest, on ne trouve ni minerais ni crassiers, le banc s'enfonce plus profondément et n'est plus représenté que par des cailloux rouges et siliceux.

Au sud, au contraire, le gisement prend de l'importance et se rattache, par les minières de Roches-sur-Marne, à celles d'Eurville ; la couche augmente beaucoup d'épaisseur, atteint et dépasse 2 mètres en quelques points privilégiés ; elle n'est d'ailleurs pas continue et semble avoir été en partie amenée postérieurement dans sa situation actuelle, car on la rencontre de préférence dans les déclivités du terrain sans qu'elle se prolonge sous les relèvements qui en sont voisins. Elle est généralement fort chargée de sable siliceux ; la mine ne peut être séparée que par le lavage ; elle rend en moyenne 35 p. 100, mais on ne parvient pas à enlever la plus grande partie de ce sable sans perdre beaucoup de mine, et celle-ci contient encore 10 p. 100 de silice. Sa puissance normale, aux Tailles et à Montgérard, est de $0^{m},75$ environ, mais elle atteint et dépasse 2 mètres par places, au-dessus d'Eurville.

Les exploitations de Roches ont peu de développement, point d'avenir, et seront bientôt épuisées ; celles d'Eurville s'étendent, au contraire, sur une grande surface. On y a tiré déjà 800.000 mètres cubes de minerais bruts ayant fourni 4 à 500.000 tonnes de mine lavée, et il en reste davantage à prendre : mais les meilleures parties du gîte, celles qui seules pouvaient se fondre sans lavage, ont aujourd'hui disparu ; ce sont d'ailleurs celles qui avaient, les premières, attiré les forges à bras, notamment au lieu dit Montgérard, où il ne reste que de pauvres affleurements capables de fournir 40 à 50.000 mètres de mine excellente.

Dans ce dernier point, à Montgérard, au dessus de Prez-sur-Marne, la couche a été enlevée complétement pa[r] anciens minerons ; mais on y rencontre une circonst[ance] remarquable : au-dessous du banc de minerai, et sé[paré] de lui par moins de 1 mètre d'argiles jaunâtres, une [nou]velle zone ferrifère apparaît sous forme d'oolithes n[...]

un peu agglomérées, en banc de $1^m,50$ d'épaisseur, sans mélange de matières étrangères, mais avec une teneur de 18 p. 100 en silice intimement combinée. Cette couche représente évidemment un développement exceptionnel du banc de grès ferrugineux subordonné au minerai de fer dans les autres régions. Les 50,000 mètres cubes de minerai qu'elle renferme ont peu de valeur pour les hauts-fourneaux, mais ils sont peut-être destinés à être recherchés quelque jour comme cordons de fours à puddler.

Les minières de Montgérard ont jadis fourni 300.000 mètres cubes de mines aux usines d'Eurville, de Bienville, de Bayard et de Chevillon; elles jouissaient d'une réputation méritée comme qualité des fers produits. La mine était moins siliceuse et plus argileuse qu'aux Tailles sur Eurville, ce qui en permettait un lavage plus soigné; aussi les forges de Bienville, pour leur haut-fourneau au bois et leurs essieux au marteau, recherchent-elles avidement les bordures des anciennes exploitations. Celles-ci, après une assez longue lacune, se relient aux minières du bois de Châtillon, qui présentent une surface encore vierge, renfermant environ 100.000 mètres cubes d'un minerai très-analogue, mais un peu moins riche et fort éloigné des usines. Ce minerai est d'ailleurs tout à fait à fleur du sol; il se continue immédiatement, avec un peu plus de morts terrains, dans le bois du Joyot, qui occupe le sud et l'ouest du village de Villiers au bois, en dominant la rive gauche de la Blaise. Le Joyot contient 100 à 150.000 mètres cubes de ce minerai; à peu près autant en ont été enlevés jusqu'ici, et ces exploitations continuent pour l'usage de hauts-fourneaux assez éloignés, marchant encore au bois.

A ce propos, nous relevons, à titre de curiosité, la découverte inexpliquée que nous avons faite, à 50 mètres amont du point où le ruisseau des Aulnayes entre dans le Joyot, d'un bloc de plusieurs mètres cubes réparti seulement en 3 ou 4 masses, de scories légères analogues à

celles des forges à bras, quoique moins denses, et dont l'accumulation sous cette forme bizarre ne nous a pas permis de deviner le mode de fabrication.

Le banc minier du Joyot diminue de puissance et de richesse en s'avançant vers le nord et en s'enfonçant sous les couches supérieures ; il n'est bientôt plus représenté que par un peu de grès ferrugineux, comme à la suite de la Côte aux Chats. Il n'y a donc pas de minerais dans la partie nord-ouest de la forêt du Val, et les 4.000 hectares où on aurait pu croire le rencontrer ne renferment aujourd'hui que un peu plus de 1 million de mètres cubes pouvant fournir 5 à 600.000 tonnes au lavage, et n'en ont jamais contenu plus du double.

La couche de minerai oolithique est interrompue, à l'ouest par la vallée de la Blaise ; on la retrouve ensuite sur le plateau qui reprend sur la rive droite de cette rivière, aussitôt que son niveau dépasse celui du fond des vallons, c'est-à-dire au sud d'Allichamps; mais elle n'appartient guère à la vallée de la Blaise : en effet les plateaux ont, à partir de leur arête, leur inclinaison dirigée vers le N.-O. comme celle des couches elles-mêmes : les minières n'appartiennent ainsi que par exception à la vallée de la Blaise, et généralement elles dépendent de la vallée de l'Aube. C'est cependant le premier nom qui a prévalu, par suite de l'importance du rôle joué par la Blaise pour le traitement de ces minerais; sauf depuis peu d'années, et en laissant de côté Sommevoire, toutes les usines consommant les minerais oolithiques de Wassy avaient pour moteurs principaux les chutes de la Blaise.

Le plateau dont nous parlons présente les marnes aptiennes sur une étendue de 5.000 hectares. Comme elles ont une puissance de 20 mètres environ, cette surface comprend à peu près la totalité de la zone exploitable, au moins par petits puits, et comme la couche n'a guère que $0^m,65$ (sauf les exceptions), avec une pente en sens con-

·aire de ce qu'il faudrait pour tirer la mine, par galerie 'assainissement, vers la Blaise où sont placés les points 'embarquement, il n'y a guère à penser à étendre beau-)up, au delà de ces limites, les exploitations au moyen : travaux réguliers, au moins tant que la mine n'aug-entera pas beaucoup de valeur; d'autant plus que la ›uche à minerai de fer, supportée par des terrains imper-éables de 30 mètres d'épaisseur, est un niveau aquifère ıportant et exigerait des travaux d'épuisement considé-bles, aussitôt que l'on dépasserait les dernières vallées ıi l'assainissent en la recoupant; quelques industriels et étallurgistes prétendent, de plus, que la qualité devient ıuvaise aussitôt que l'on s'enfonce sous les argiles, par gmentation de la proportion de sulfates et de sulfures; ıte opinion est basée sur l'examen d'une portion de la ·êt de Marnesse, dite le bois Saint-Remy, et sur la com-raison faite entre Louvemont, où la mine est prise sous ou 20 mètres d'argile, et les minières d'affleurement ploitées, soit auprès de ces localités, soit plus au sud. is s'il est généralement vrai que les mines d'affleure-ınt sont pauvres en gypse, le fait n'a pas la généralité on lui prête : on trouve en effet des affleurements très-pseux sans aucune terre de recouvrement, à peu de tance du bois Saint-Remy, tandis que nous avons vu xcellents minerais tirés sous les argiles, à 23 mètres de ıfondeur, au milieu du bois de Marnesse, à un kilomètre deux des précédents; on trouve aussi quelques régions fatées même à Voillecomte. Nous avions un instant éré obtenir une solution à peu près décisive de cette ·stion par des recherches qu'un riche propriétaire se posait de faire, à 6 kilomètres des affleurements, par ou plusieurs puits qui auraient eu à percer un peu de ılt argileux, tous les sables verts et toutes les argiles iennes; malheureusement ce projet n'a pas eu de suite. .a couche ferrifère repose directement sur des argiles sa-

bleuses, siliceuses, marbrées de blanc et de rose, dans les lits supérieurs desquelles sont intercalés des grès ferrugineux; quelquefois ceux-ci disparaissent presque complétement, d'autres fois ils se rapprochent du minerai jusqu'à se réunir à lui, et généralement le banc minier est alors pauvre et aminci; ils ont toujours une faible épaisseur et n'atteignent guère $0^m,30$. La couche commence, à sa base, par une partie riche et dure, absolument compacte et un peu disposée en rognons; parfois totalement absente, souvent réduite à une épaisseur de quelques centimètres, atteignant assez souvent $0^m,15$ ou $0^m,20$ et parvenant à $0^m,40$ seulement en quelques points : on la nomme le banc de fond; elle a une cassure nette, conchoïdale, esquilleuse, et ne présente pas d'oolithes; sa couleur est rouge violacée et sa densité très-grande; elle renferme 45 p. 100 de fer au moins, quand elle est bien décollée des argiles sous-jacentes. Peu apprécié autrefois pour les fourneaux au bois, où il est difficile à réduire, ce banc de fond est très-recherché aujourd'hui, parce qu'il s'adapte parfaitement aux conditions de roulement des grands hauts-fourneaux, parce qu'il n'exige aucun lavage, et que sa richesse est une cause d'économie de combustibles. On trouve ce banc de fond surtout bien développé au bois des Ayeux et dans la partie sud de la forêt de Marnesse.

Au-dessus du banc de fond, se présentent les assises oolithiques, souvent divisées en deux bancs, l'un rouge, l'autre jaune; le premier est ordinairement plus riche que le second et tient 40 ou 41 p. 100 de fer; le second en renferme 37 ou 38 p. 100; parfois le tout est gris, ce qui peut passer pour le signe général d'une teneur et d'une qualité inférieures. En moyenne, on peut admettre 38 p. 100 pour la teneur des bancs oolithiques bien nettoyés et en dehors des affleurements et folles mines.

Dans la partie comprise entre Louvemont et la route de Wassy à Montier-en-Der, les bancs oolithiques se sé-

.rent nettement des terres ambiantes et résistent assez en aux chocs et aux agents atmosphériques pour qu'une nne partie puisse être livrée aux fourneaux sous forme morceaux assez gros n'exigeant aucun lavage. Le cimen-ge des grains donne à ces blocs une résistance assez grande ur passer sans encombre dans des hauts-fourneaux au ke, à production de 15 à 20 tonnes par jour; mais, au là de ces limites, les mouvements dans les hauts-four-aux sont trop violents ou les compressions trop grandes, les morceaux se réduisent en poussière, au grand pré-lice de la marche des appareils. Les minerais ne peuvent ıs alors être employés que sous forme de briquettes ag-›mérées artificiellement comme les produits de lavage.

Au sud de la route ci-dessus indiquée, et sur tous les luents de la partie nord, le minerai n'est guère employé ıs lavage; sa teneur n'y gagne pas énormément, car on rd 55 p. 100 de la masse pour la faire passer de 35 à p. 100 de fer; mais la marche des hauts-fourneaux se uve fort améliorée, et sans doute aussi la qualité des ıtes produites. Ces affleurements, ainsi que les minières Eurville, pourraient, à la rigueur, faire une neuvième caté-rie de minerais, comme alluvions, mais cette distinction ɹs semble ici inutile, parce que la liaison est par trop ecte et évidente.

ɫ Voillecomte, le minerai n'a pas aussi nettement l'as-:t oolithique et se rapproche un peu de ceux de Moran-ırt, du néocomien inférieur, en ce sens que le menu ferme beaucoup de gravois sans structure oolithique; ·ès lavage, il constitue une excellente mine de fer. On ıt le considérer comme un remaniement sur place de la ıche riche en banc de fond, comme dans le voisinage, à rnesse et aux Ayeux.

.a puissance du gisement n'atteint 1ᵐ,20 que par excep-ı au bois des Ayeux, et, plus au sud, dans les bois de :hecourt-sur-Blaise et de Villemblaisois; on lui trouve à

peu près $0^m,80$ à Louvemont et dans les bois de la ville de Wassy, $0^m,60$ à Marmesse, Voillecomte, Rachecourt-sur-Blaise, et souvent moins en divers points, de telle sorte que la moyenne des épaisseurs aux points exploités est seulement de $0^m,65$. De très-grandes différences de composition se présentent entre divers échantillons du minerai de Wassy, comme le montre le tableau ci-dessous, qui ne comprend cependant que des morceaux de choix.

	SOMMEVOIRE choisi.	AYEUX banc de fond.	WASSY rouge.	WASSY rouge.	WASSY jaune.	RACHECOURT brut.	RACHECOURT lavé.
Perte.	17,9	13,5	16,4	16,1	22,5	18.0	13,3
Silice.	12,8	10,4	10,7	12,4	15,0	19,0	12,5
Alumine.	3,4	11,2	11,2	10,7	11,0	12,5	10,5
Chaux.	1,5	1,7	1,7	0,5	1,0	1,0	1,2
Peroxyde de fer.	64,4	60,0	60,0	60,3	55,5	49,5	62,5
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fer.	45,08	45,5	42,0	42,21	38,85	34,65	43,75

Nous allons maintenant suivre ce gisement et les exploitations auxquelles il a donné naissance depuis Louvemont jusqu'à Sommevoire. A Louvemont, d'anciennes crasses montrent que les affleurements ont été depuis longtemps attaqués; ces exploitations se sont successivement accrues, sans pénétrer bien profondément, jusque vers 1860; puis on a trouvé que le reste du gîte était moins pur, et l'exploitation a à peu près cessé jusqu'à 1865; à cette époque, MM. Mineur jeune et C[ie] ont entrepris des explorations qui ont démontré l'existence d'une couche régulière sous le village et au nord, jusqu'à une certaine distance où la couche s'amincissait en plongeant au nord-ouest. L'épaisseur moyenne du banc, sur 50 hectares, paraît être de $0^m,80$, celle des terres de recouvrement s'accroît rapidement, à partir des affleurements, jusqu'à 15 et 18 mètres; après s'être assuré le droit d'exploiter sur environ la moitié de la surface disponible, pouvant fournir à peu près 400.000 tonnes, et tout en exploitant diverses parcelles

ıits puits et à ciel ouvert, MM. Mineur ont ouvert lerie d'assainissement et de roulage dans les argiles ous-jacentes, afin de diminuer les frais d'exploitation le plus important. Dirigée vers l'ouest, cette galerie la couche, par sa base, à 120 mètres de l'entrée, et e de 1 1/2 p. 100 de la couche permettrait de pro- de 200 mètres encore les travaux avant que la couche sé au mur, ce qui suffirait pour atteindre les limites ement. De petits puits d'aérage ont été creusés de 30 mètres pour l'exécution de la galerie; mais di- circonstances ont empêché d'utiliser cette galerie, terrain minier de Louvemont est encore presque sauf les 40.000 tonnes enlevées par les exploitations inées : il peut donc fournir 750.000 tonnes de mine- and on le reprendra; il est vrai que la moitié de cette té est sous le village et que les rapides effets du tasse- empêcheront sans doute de procéder à l'extraction. fig. 17 représente la disposition, à Louvemont, des s ferrifères et de la galerie Mineur.

ninerai de Louvemont est très-régulier; il se détache ent en morceaux de 8 à 10 kilogrammes assez bien inés, oolithiques, d'un gris un peu verdâtre et sen- ent sulfureux; sa teneur en fer est de 38 p. 100; il s de banc de fond; sous l'influence des agents atmos- ues, il résiste bien pendant quelques mois, mais finit déliter complétement; son prix de revient actuel it comme suit :

	francs.
Furtraite (droit payé au propriétaire de la surface).	1,00
Extraction (prix payé aux ouvriers minerons).	1,65
Transport en gare.	1,45
Chargement et frais généraux. . . .	0,70
	4,80
Transport à Vireux et manutention.	7,15
Total.	11,95 par tonne.

Au sud de Louvemont, un ravin sépare ces terrains de ceux du bois de Marnesse, puis on commence par trouver la mine à peine représentée par des rognons de marne ferrugineuse, puis encore un peu plus loin elle se développe; tous les affleurements, qui étaient fort riches au-dessus des usines du Buisson et du Châtelier, ont été enlevés depuis longtemps; mais, dans l'intérieur du bois, il reste en terre 2 millions de mètres cubes de mine; la moitié environ est de très-médiocre qualité; elle confine au bois Saint-Remy, et avec une puissance de 0,20 à 0,30 elle renferme beaucoup de gypse; mais l'autre moitié, plus au sud, se rattache au bois des Ayeux et présente les mêmes caractères : la mine, tout à fait au sud, a une puissance de $0^m,75$, s'exploite à ciel ouvert, présente une base de fond de 0,20, et la majeure partie du reste se détache en blocs rouges de qualité parfaite; sauf les affleurements proprement dits, ce minerai n'a guère besoin de lavage; la teneur moyenne du banc entier est de 40 p. 100. Un peu plus au nord, la mine est recouverte de 20 mètres de terre, mais elle reste de bonne qualité avec une puissance de 0,55, un banc de fond de 0,10 et deux couches égales de mine rouge et jaune; l'ensemble du banc a une teneur de 38 p. 100; puis, au delà, la mine devient gypseuse et inexploitable, comme nous l'avons déjà dit.

On a fouillé quelques points où les terres de recouvrement avaient peu d'épaisseur et où des ruisseaux permettaient le lavage sur place, mais on n'a pas enlevé plus de 150 à 200.000 mètres de minerai. On peut estimer qu'il reste disponible dans cette forêt 1.600.000 tonnes de minerai d'excellente qualité, plus ou moins difficile à exploiter.

Les exploitations ne sont aujourd'hui poussées qu'à la suite des affleurements anciennement tirés et presque uniquement faites à ciel ouvert; les minerais sont transportés aux usines de MM. Danelle, propriétaires de la forêt, mais divisés en trois parties : l'une formée presque exclusive-

, de banc de fond destinée à la vente, une seconde de eaux à brûler bruts, et enfin le menu, qui est lavé à ıe même. Le prix de revient à l'usine est le suivant :

Extraction.	1.50	3,10 par tonne.
Transport.	1,10	
Manutention et frais généraux.	0,50	

forêt de Marnesse communique immédiatement au sud le bois des Ayeux, où la couche est encore mieux déve- e et présente une moyenne de $0^m,90$ d'épaisseur avec 5 de banc de fond; presque tout le reste est en mine e et la teneur en fer, pour toute la couche, s'élève à 100. C'est là le plus beau gisement de tout le pays; tend sur une surface de 100 hectares environ, dont le la moitié est aujourd'hui dépouillée de minerais. On évaluer à près de 1 million de tonnes ce qui reste à ire. Les mines des Ayeux ont été achetées au proprié- du sol, dans ces dernières années, au prix de $2^f,50$ le cube enfoui, soit $1^f,10$ la tonne environ; les frais raction et de transport sont sensiblement les mêmes Marnesse; le minerai revient, sur vagon, au prix de à $4^f,20$; il est vendu par la Société Debatty surtout usines du pays, particulièrement dans le groupe de -Dizier.

sud encore des Ayeux, on parvient, sans quitter la , dans les bois du duc de Galliera, achetés il y a huit pour 1.200.000 francs par la Société anonyme des de la Blaise. Cette Compagnie a fait de grands travaux mettre la totalité du gisement dans de bonnes condi- d'exploitation; elle a commencé par faire exécuter un ement complet de la surface du sol, sur 1.200 hectares, bois coupés, et en a ainsi obtenu une représentation raphique complète; puis elle y a fait percer environ uits de recherches au moyen desquels elle a reconnu e gisement existait réellement sur 500 hectares, avec

une puissance moyenne de 0m,65 et une épaisseur de te
de recouvrement de 0m,50 à 15 mètres et, en moyenne,
5 mètres environ. L'importance de ses ressources miniè
s'élevait donc à 3.250.000 mètres cubes enfouis, pes
2.200 kilogrammes ou, en tonnes, à 7.150.000 tonnes.
lots séparés de l'ensemble ont depuis lors été attaqués
travaux distincts qui n'ont pas beaucoup amoindri cette qu
tité, pendant que la Société construisait d'abord un vill
pour 500 ouvriers, puis des bureaux, un plan incliné d
cendant à des estacades placées au port sec de Pont-Va
et enfin une grande voie ferrée destinée à conduire les
gons ordinaires dans toutes les parties de la minière.
travaux ont exigé en tout une dépense de 1.200.000 fra
qui s'élèvera au moins à 1.500.000 fr. quand on comm
cera la grande exploitation ; en joignant à ce chiffre celui
l'acquisition et 500.000 fr. pour les intérêts déjà dépens
on voit que la mine aura à supporter 0f,50 par tonne
chef des travaux de premier établissement. Les prétenti
de la Société consistaient à parvenir à une exploitation a
nuelle de 300.000 tonnes, et son prix de revient s'établis
alors, en moyenne, comme suit, sur wagon à Pont-Var

	francs.
Frais de premier établissement. . . .	0,50
Intérêts, surveillance, frais généraux.	1,00
Extraction.	1,75
Chargement et traction jusqu'à la gare.	0,75
	4,00 par ton

En joignant à ce prix les frais de transport par chemin
fer, on obtient pour le minimum des prix de vente à diver
usines, les chiffres suivants :

	francs.
A Saint-Dizier, tous frais compris. . .	6,00
Eurville.	6,55
Vireux.	11,20
Charleroi.	13,35
Marchienne.	13,30
Acoz.	13,00

ıs jusqu'ici, la Société est bien loin d'être assurée de ébouchés ; il en résulterait une aggravation sensible ses prix de revient, et les frais de premier établisse- et d'amortissement n'étant plus compensés par une mie considérable dans les transports, elle se trouverait des conditions sensibles d'infériorité par rapport aux s exploitations de MM. Danelle ou Debatty. Des com- ions financières au milieu desquelles la Société s'est e engagée, en dehors de ses exploitations, n'ont pas, ırs, amélioré sa situation, mais amèneront peut-être quidation des frais de premier établissement, qui ttra ensuite une marche rémunératrice.

chiffres que nous venons de donner montrent que la ıtion des prévisions des exploitants épuiserait en 20 ans la totalité de cet important gisement. Dans les ions actuelles de bas prix des produits métallurgi- et avec l'obligation de charger sur wagon, on peut nent doubler cette période ; mais il en serait tout nent si un canal, construit le long de la Blaise, arri- u pied des minières : alors le prix de transport serait de 40 p. 100, et l'on aurait :

	francs.
A Vireux.	8,32
A Charleroi.	9,61
A Marchienne.	9,58
A Acoz.	9,40

les minerais de la Blaise sont de très-bonne qualité p. 100 de fer, tandis que les minerais de Luxem- et d'Ancerville ne renferment que 32 à 36 p. 100 de coûtent de 9 à 11 francs rendus aux mêmes usines ; es conditions, le minerai de la Blaise serait très-re- ıé dans les usines de la Sambre et l'écoulement serait rapide qu'assuré.

ouest des bois de Wassy et de Pont-Varin, on ren- autour du village de Voillecomte un beau banc de mi-

nerai, généralement de bonne qualité, mais qui n'est pas employé sans lavage; il occupait environ 150 hectares, dont la moitié est aujourd'hui enlevée. Son épaisseur courante est de 0m,60 ; on peut estimer qu'il y reste encore environ 500.000 tonnes, qui, après lavages, fourniront 300.000 tonnes de gravois ferrifères d'excellente qualité. L'exploitation, commencée à ciel ouvert, se continue aujourd'hui par petits puits, avec une épaisseur de 10 mètres de terre de recouvrement. Ces travaux, les transports par essieux jusqu'à Saint-Dizier, la furtraite payée aux propriétaires du sol et l'esprit d'économie qui règne dans cette commune, y ont accumulé des sommes considérables dont l'agriculture a largement profité, contrairement à ce qui arrive presque partout ailleurs.

Les gisements miniers continuent à se présenter au sud de la route de Wassy à Montierender, mais, comme nous l'avons dit, ils ne peuvent plus guère être employés au haut-fourneau sans lavage préalable; ils occupent une surface considérable dans les communes de Montreuil-sur-Blaise, Ragecourt, Laneuville, Vaux, Suzémont, Doulevant-le-Petit, Ville en Blaisois et Bailly aux Forges; plus loin, en se dirigeant au sud-ouest, on a exploité encore quelques minières à Sommevoire, Rozières et Anglus; mais, dans cette région, la zone de facile exploitation se restreint beaucoup; la couche n'y a plus que 0m,40 d'épaisseur, et les difficultés de communication ont donné peu de développements à l'exploitation. Au contraire, dans la partie voisine de la Blaise, les minières ont été attaquées avec activité depuis fort longtemps, et tous les affleurements ont été fouillés : dans ces vieilles minières, il reste généralement de 15 à 30 p. 100 du banc primitif, abandonné sous forme de piliers négligés au milieu des exploitations. La superficie encore utile peut être évaluée en tout à 800 hectares, avec une puissance de 0m,60, soient 4.800.000 mètres cubes de mine enfouie où environ 10 millions de tonnes; le banc de mine-

atteint parfois 1^m,20, aux environs de Ragecourt et de le-en-Blaisois, aux affleurements, mais, plus souvent, il réduit à 0^m,45 ou 0^m,50; de plus, le minerai qu'on y uve est un peu mélangé d'argile, sans banc de fond, et ne teneur en fer de 34 p. 100 en moyenne : aussi le met-on au bocardage et au lavage; on le transforme si en gravier fin à 40 p. 100 de fer, en en perdant p. 100. Les 10 millions de tonnes fourniraient donc seuient 1.800.000 tonnes de fer, tandis que les 7.000.00 de nes de la Société des mines de la Blaise produiront 00.000 tonnes de fonte.

Les industriels de la Blaise, pas trop éloignés desdites nières, préfèrent, d'ailleurs, le minerai lavé de Monuil-sur-Blaise aux minerais bruts de Pont-Varin : mais prix de revient sont de beaucoup supérieurs; en admett un prix moyen de furtraite de 1^f,65 par mètre cube oui, on a, en effet, par tonne :

Pour le minerai brut.

	francs.
Extraction.	1,50
Furtraite.	0,80
Transport moyen.	1,40
Frais généraux.	0,25
	3,95

Pour le minerai lavé.

2,2 mine brute.	8,69
Frais de lavage, établissement, etc. .	0,80
Transport à l'usine.	0,70
	10,10
Et par tonne de fonte 2,50 mine lavée.	25,25

En résumé, les minerais du néocomien supérieur prétent encore de grandes ressources dans notre région : is les parties disponibles des gisements sont aujourd'hui ez restreintes dans le voisinage des voies de communica-

tion faciles. Aussi la furtraite a-t-elle beaucoup augı
Au commencement du XIXe siècle, il y avait concu
d'offres de minerais, et l'on ne payait guère que 0f,
mètre cube enfoui ; en 1835, on arrivait déjà à
en 1850, on atteignait 0f,50, puis l'accroissement
tinué régulièrement jusqu'au prix actuel de 1f,50 à
par mètre cube enfoui, selon l'importance, la qualit
position du gisement ; dans les circonstances exce
nelles de 1872-1873, ce dernier taux a même été dé
et un lot de 102.000 mètres cubes de mine a été
4f,30 le mètre cube enfoui. Depuis 1873, il n'a guè
vendu de droits d'exploitation, et l'on ne peut en co
tre le cours : mais il y a lieu de penser que les lot
placés ne seraient pas cédés au-dessous de 2 fra
mètre enfoui.

La quantité de minerai extraite dans ces minière
puis le commencement du XIVe siècle, époque de la
tion des premiers hauts-fourneaux sur la Blaise, ju
1835, peut s'estimer à 1.870.000 tonnes, en tenant c
du nombre et de l'importance des usines de cette pé
Depuis lors, l'extraction moyenne a été de 125.000 t
par an ; en tout, on a tiré, depuis 1835, jusqu'à
de 1876, 5.750.000 tonnes ; toutes ces minières ont
produit, jusqu'ici, 8.620.000 tonnes environ. On
compter, aujourd'hui, sur une exploitation annuel
200.000 tonnes, et, si l'exportation marche bien, on
atteindre le double, soit 400.000 tonnes par an. Les
sources disponibles doivent d'ailleurs s'évaluer, en rés
comme suit :

	tonnes.
Eurville, Montgérard, Châtillon, Joyot (Mine lavée)	1.000.00
Louvemont (mine brute)	400.00
Marnesse (mine brute)	1.600.00
Ayeux, Bois de Wassy, Pont-Varin (mine	
A reporter	3.000.00

	tonnes.
Report.	3.000.000
brute).	7.500.000
illecomte (mine lavée).	300.000
checourt, Bailly, etc. (mine lavée).	4.500.000
nerai du néocomien supérieur. Total. .	15.300.000
nerai du néocomien inférieur (mine lavée).	1.800.000
nerai géodique de Montreuil (mine lavée).	1.000.000
Ensemble.	18.100.000

e est la situation de nos minières, au commencement née 1876.

NOTE

SUR

L'INONDATION DE LA HOUILLÈRE DE TYNE

(PAYS DE GALLES)

Par M. Ed. SAUVAGE, ingénieur des mines.

Au mois d'avril 1877, une partie de la houillère de Ty dans le pays de Galles, a été envahie par les eaux. Sur l'inondation, plusieurs mineurs ont été emprisonnés dans et leur sauvetage a présenté des circonstances intéress instructives. M. Galloway, inspecteur des mines à Cardiff, travaux sont déjà connus des lecteurs des *Annales*, a ré notice sur quelques détails du sauvetage dans les « *Procee the south Wales institute of engineers* » (N° 5, vol. X); voulu aussi me communiquer des notes très-complètes su dent, accompagnées de plans; grâce à son obligeance, je p ner ici une description exacte des travaux exécutés. Il n indispensable, pour l'intelligence de cette description, d duire partiellement le plan de la mine (*fig.* 18, Pl. I).

Ce plan, fait à l'échelle de 1/6336e (un huitième de pou une chaine ou 66 pieds), représente une partie des tra houillères de Tynewidd et Cymmer, ouverts dans la couc L'épaisseur de cette couche est de 3 pieds 3 pouces (0m,97 fait un angle d'environ 9° avec l'horizontale. Elle est cou une grande faille, qui la rejette de 30 yards (27m); cette f figurée à la partie inférieure du plan en F'F', la portion de la abaissée étant, sur le dessin, au-dessus de la projection de

Les galeries montantes N et N', qui partent du puits de l lère de Tynewidd, ayant rencontré la faille en M, avaient é duites horizontalement à travers bancs jusqu'à leur renc G avec la couche rejetée. Du point G, on avait tracé une ga niveau GFE, puis, du point F, la galerie inclinée FT. De T de part et d'autre, une autre galerie de niveau TH et T une troisième galerie ZRW, horizontale dans la portion RV tissait également au plan incliné qui avait été établi dans la

L'exploitation consistait à mener des chantiers remontant à
r des galeries de niveau, semblables au début à celui qui est
é en C et qui, en s'élargissant et se confondant, finissaient
aisser seulement des piliers triangulaires comme au-dessus de
lerie ZRW.

s travaux du puits Cymmer sont représentés partiellement sur
rtie gauche du plan, les anciens travaux abandonnés depuis
t ans, en KU, et les nouveaux travaux dans la portion rejetée
couche. Les anciens travaux étaient complétement remplis
jusqu'à leur point K le plus élevé, situé sur la faille; dans
iouveaux travaux, l'eau s'élevait également jusqu'au même
iu. L'épuisement se faisait par le vieux puits Cymmer (non
sentó).

lle étant la situation des lieux, la galerie TH fut poussée im-
emment vers les parties inondées, si bien que, le soir du
ril 1877, l'eau fit irruption, par le point H, dans les chantiers
a houillère de Tynewidd, les remplissant jusqu'au niveau
ué sur le plan par un trait pointillé (niveau inférieur, natu-
ment, au niveau primitif, qui passait par le point K). Il y avait
14 personnes dans ces chantiers.

découvrit immédiatement, en entendant des coups frappés
e les parois et le toit des galeries, qu'il y avait des hommes
isonnés en D et dans le chantier A. On se mit aussitôt à percer
etite galerie en E à travers le massif de charbon, qui n'avait
mètres de largeur; mais au moment où l'on perça dans le
D, l'air, comprimé par l'eau, s'échappa avec une extrême vio-
, si bien que l'un des hommes, au nombre de 5, qui étaient
isonnés en cet endroit, fut précipité contre le charbon au
où le trou était percé, et fut tué. Toutefois les quatre autres
ers purent être sortis vivants, l'eau n'ayant pas monté jusqu'à
près la décompression de l'air.

ur pénétrer dans le chantier A, on perça un puits en L dans
erie à travers bancs N'; mais, quand on approcha de la couche
uille, les hommes emprisonnés (au nombre de 2) cessèrent
apper des coups, et bientôt après l'eau apparut au fond du
. Il n'y avait donc plus d'espoir à conserver. L'air comprimé
t échappé progressivement à travers les fissures de la roche
au avait complétement rempli le chantier. Il est clair, d'ail-
, que, si la roche n'avait pas laissé filtrer l'air, au premier
percé à travers le toit du chantier, il se serait brusquement
pé, et que le résultat aurait été le même.

premiers travaux avaient été faits avant l'arrivée de l'inspec-

teur des mines, M. Galloway, et l'opinion unanime des ingéni et des ouvriers de la houillère était qu'il n'y avait plus a homme vivant dans les quartiers inondés. Mais l'examen du fit reconnaître à M. Galloway que le chantier C, qui formait sorte de cloche à plongeur, était certainement plein d'air ; (si ces hommes avaient pu s'y réfugier, ils étaient à coup sûr er vivants. Ce chantier avait 7 yards (6^m,25) de largeur à l'entr 15 yards (13^m,50) au front de taille, qui était à 42 yards (38 la galerie inférieure. Pénétré de l'idée qu'il pouvait conteni hommes vivants, M. Galloway se rendit au point D, puis il éc avec attention, en approchant l'oreille d'un angle de pilie sortait de l'eau. Il parvint à distinguer le son de coups loint et, frappant lui-même contre l'angle du pilier, il finit par ob une réponse à ses coups. Son hypothèse se trouvait justifiée.

Au premier abord, la situation des hommes ainsi emprisc paraissait désespérée : car il existait un massif de 40 yards de houille entre eux et la galerie la plus proche, et cette ga était inondée ! Mais, en étudiant la question et en admettan les hommes pourraient vivre au moins cinq jours dans le chan M. Galloway reconnut que le sauvetage était possible ; il fi d'abord commencer par épuiser l'eau, aussi rapidement que sible, jusqu'à ce que le point R de la galerie ZRW, la plus vo du chantier, fût à sec. L'idée de M. Galloway était d'installe forte pompe au fond du nouveau puits Cymmer (représenté s plan en P) et d'élever l'eau seulement jusqu'au niveau du poi en la rejetant dans les vieux travaux. Cette idée ne fut pas m exécution, et l'épuisement se fit au moyen de pompes placée le plan incliné FT et dans le puits Tynewidd, ces dernières éle les eaux jusqu'à la surface du sol. Le point R étant à sec, on vait procéder de deux manières différentes : 1° percer une ga descendante allant rejoindre le chantier C, tout en continuan puisement des eaux, jusqu'à ce que leur niveau fût descendu dessous de la partie supérieure du chantier ; pratiquer alor trou de fleuret par lequel l'air comprimé se détendrait jusqu' pression de l'atmosphère ; puis terminer complétement la ga de sauvetage et faire sortir les hommes. Ceux-ci n'auraient pu atteints par l'eau lors de la décompression de l'air, le niveau é suffisamment abaissé ; 2° mener la galerie de sauvetage aussi que possible, la fermer à la partie supérieure par deux cloi munies de portes formant sas à air, puis y comprimer l'air même pression que dans le chantier C. On pouvait alors débou sans danger dans ce chantier.

n essaya, sans succès, de porter aux hommes enfermés de la rriture et de l'air frais, au moyen d'appareils à plonger; ces ls n'excluaient nullement, d'ailleurs, l'emploi d'une des deux hodes ci-dessus indiquées; s'ils avaient réussi, ils n'auraient que rendre plus sûre la délivrance des hommes, en prolongeant mps pendant lequel ils pouvaient vivre dans leur chantier.

n s'arrêta au second des projets de sauvetage indiqués, et, le vril, on commença le percement de la galerie descendante. ı, de même que pour l'installation des pompes, diverses diffi-és surgirent pour l'établissement du sas à air. Je ne puis in-ıer ici ces difficultés, qui ne furent nullement de nature tech-ıe; je dirai seulement qu'on ne put pas comprimer l'air dans ılerie et que deux journées, du 16 au 18, furent à peu près plétement perdues. Pendant ce temps, l'épuisement des eaux tinuait, si bien que leur niveau s'était abaissé au-dessous de la le supérieure du chantier : aussi lorsque, le 18 avril, l'on dé-cha dans ce chantier, les cinq ouvriers enfermés ne furent pas és : ils sortirent vivants de la mine, après avoir été emprisonnés . jours.

percement de la galerie aurait pu être fait en deux jours. Par séquent, si l'on avait installé des pompes deux fois plus puis-tes, ce qui était possible, le premier des deux moyens de retage n'aurait pas demandé plus de temps que le second bien ıqué.

ajouterai que deux hommes ont été noyés au point S, ce qui te à 5 le nombre des victimes de l'accident.

l'exécution des travaux de sauvetage a laissé à désirer (bien ıeureusement les hommes aient pu être sauvés), le projet en t excellent. La manière raisonnée dont les hommes ont été re-rchés et découverts dans la mine est aussi très-digne de re-que. En examinant les faits à tête reposée, on peut trouver -simple cette découverte; mais il faut se reporter au trouble moment pour bien l'apprécier. Ainsi l'on avait d'abord perdu rue le fait que les hommes qui vivaient en D et en A étaient s l'air comprimé, et l'on avait tout simplement percé le charbon s la direction des endroits où ils se trouvaient : c'est ce qui a ısé la mort des deux hommes enfermés en A, car il eût fallu, ıussi, l'installation d'un sas à air. Quant à ceux qui étaient en D, ı d'eux a perdu la vie parce qu'on a ouvert un orifice trop large air; et, d'ailleurs, on n'avait certes pas songé à s'assurer que ıu ne remplirait pas complétement l'espace D. Il serait très-bon, ıs le cas d'accidents semblables, de se rappeler de ce qui s'est

passé à la houillère de Tynewidd et de songer à cet effet de co
pression de l'air.

Le numéro que j'ai cité plus haut des *Proceedings* conti
également la description d'un appareil proposé par M. Upw
pour les accidents analogues. Cet appareil est construit sur
modèle d'un outil employé pour percer des trous dans les condui
d'eau sans laisser échapper l'eau. Il consiste en une chambr
air cylindrique munie d'une bride que l'on appliquerait forteme
en interposant une garniture convenable, contre la face du mas
de charbon à percer; une vanne, établie près de la bride, perm
trait de fermer cette chambre. Une boîte à étoupes, placée du c
opposé, laisserait passer la tige d'une tarière, à l'aide de laque
on traverserait le massif de charbon sans que l'air (ou l'eau) qu'
rencontrerait pût s'échapper. Une fois le trou percé, l'appar
servirait à envoyer des aliments et de l'air à des ouvriers captifs

Il semble, en effet, que cet instrument pourrait fonctionn
bien qu'il soit certainement plus difficile d'obtenir un joint étanc
sur le charbon que sur la surface lisse d'une conduite d'eau ; m
l'inventeur paraît sortir du domaine de la pratique, en pro
sant de construire un appareil assez gros pour que des homm
puissent passer par le trou.

ÉTUDE (*) SUR LES CHAUDIÈRES VERTICALES CHAUFFÉES

R LES FLAMMES PERDUES DES FOURS MÉTALLURGIQUES

Par M. H. CLÉRY, ingénieur en chef des mines.

Les chaudières verticales chauffées par les flammes per-
es des fours métallurgiques ont donné lieu, pendant ces
rnières années, à des explosions dont quelques-unes ont
t de nombreuses victimes et ont eu le caractère de véri-
bles catastrophes. L'administration des mines, émue de
s graves accidents et désireuse d'en éviter le retour, a
ulu être renseignée sur le régime des chaudières suscep-
les de devenir si meurtrières, et elle a provoqué une
quête dont les résultats, transmis à la Commission cen-
le des machines à vapeur, ont été l'objet de l'examen
une sous-commission composée de trois de ses membres,
I. Couche, Forquenot et Cléry.

La sous-commission ne s'est occupée que des points qui
aient trait à la sûreté : écartant tous les autres côtés de
question, elle n'a pas pensé que son attention dût se porter
r les avantages ni sur les inconvénients relatifs de ce type

*) Cette étude a été présentée à la Commission centrale des ma-
nes à vapeur, dans sa séance du 25 mai 1876, par M. H. Cléry,
nom de la sous-commission chargée d'examiner, au point de
de la sûreté, l'emploi des chaudières verticales.

a commission a adopté les conclusions qui lui étaient propo-
s, et a émis l'avis qu'il y avait de publier ce travail dans les
ales des mines.

de chaudières au point de vue économique, ni sur l'avenir qui pouvait leur être réservé.

Le rapport qui suit fait connaître le nombre, le mode de construction et les conditions d'emploi des chaudières verticales chauffées par les flammes perdues, les accidents auxquels elles ont donné lieu. Il se termine par les conclusions que la sous-commission propose à l'approbation de la Commission au point de vue unique de la sûreté.

I.

Renseignements fournis par l'enquête sur le nombre, le mode de construction et les conditions d'emploi des chaudières verticales chauffées par les flammes perdues des fours métallurgiques.

Nombre de ces chaudières. — Le nombre des chaudières verticales chauffées par les flammes perdues des fours métallurgiques est en France d'environ 720 (*). On les rencontre principalement dans la Loire (261), au Creusot (160), dans la région du Cher, de l'Allier et de la Nièvre (91), dans le département du Nord (64).

Types divers de ces chaudières. — La généralité est chauffée extérieurement; un dixième, à peu près, est soumis à un chauffage à la fois intérieur et extérieur; il en est très-peu de chauffées uniquement à l'intérieur.

Chaudières chauffées extérieurement. — Ces chaudières sont à un seul ou à deux corps. Toutefois une usine de la Loire présente un certain nombre de chaudières à quatre corps.

La disposition la plus généralement usitée consiste en un cylindre unique, enveloppé à distance et jusqu'à une certaine hauteur par un tour en maçonnerie de briques. L'in-

(*) Ce renseignement se rapporte à l'année 1876.

lle qui les sépare, de 30 à 40 centimètres à la partie
.eure, est un peu moindre à la partie supérieure. C'est
cet intervalle que circulent les flammes.

hauteur du cylindre varie entre 12 et 15 mètres, son
ètre entre 1 mètre et 1m,30 ; ce n'est qu'exceptionnel-
it que les plus petites de ces dimensions ne sont pas
ites et que les plus grandes sont dépassées. On ne va
ommunément au-dessous de 1 mètre parce que l'espace
eur libre deviendrait trop étroit pour permettre un
ettoyage et parce que, avec les hauteurs en usage, il
iu moins ce diamètre pour tirer un parti suffisant de
ileur produite par les fours. De même on ne dépasse
m,30 pour ne pas avoir un volume d'eau trop grand
gard à la surface de chauffe et pour éviter l'emploi
.es dont l'épaisseur trop forte présenterait moins de
ties de bonne fabrication et plus de risques d'avaries
vice.

type présente les variations principales suivantes
. II, *fig.* 1 à 5) :

is certains établissements, la partie supérieure est
e de manière à donner de plus grandes dimensions au
d'eau et à la chambre de vapeur ; quelquefois aussi, le
cylindrique est flanqué de tubes bouilleurs latéraux,
alement au nombre de 4. Quand le nombre des corps
aux est de 2, celui que la flamme atteint en dernier
st d'une hauteur et d'un diamètre moindres que son
gué. Les timbres varient entre 4 kilog. et 6 kilog. ; ils
scendent jusqu'à 3 que dans les anciens appareils.

iudières chauffées à la fois à l'intérieur et à l'exté-
— Ce système de chauffage mixte est surtout usité
le département du Nord. Les flammes circulent d'abord
térieur (V. Pl. II, *fig.* 6 et 7).

hauteur des chaudières est moindre que dans le
ne précédent, mais le diamètre extérieur est plus
. ; il atteint jusqu'à 3 mètres. Les timbres varient entre

3 et 4 kilog.; exceptionnellement ils s'élèvent jusqu'à 6 ou descendent jusqu'à 2 kilog.

Chaudières chauffées intérieurement. — Elles sont à un seul gros tube intérieur, sans particularité spéciale (V. Pl. II, *fig.* 8). Un certain nombre appartiennent au système Field.

Les renseignements qui suivent s'appliquent plus spécialement aux chaudières verticales à chauffage extérieur ou à chauffage à la fois extérieur et intérieur qui, comme il a été indiqué plus haut, constituent la presque totalité des appareils de cette nature.

Chaudières à chauffage extérieur. — Les chaudières reçoivent, en général, chacune les flammes d'un seul four, qu'elles soient à 1, à 2 ou à 4 corps. Elles sont à 1 ou à 2 et quelquefois à 3 carneaux.

Arrivée et circulation des flammes. — Les flammes arrivent toujours vers le bas; elles sortent dans l'atmosphère par des cheminées qui sont établies, ou sur la plate-forme supérieure, ou latéralement et indépendamment de la chaudière.

Quand le générateur a deux corps, les flammes monten et descendent le plus souvent en enveloppant dans chacune de ces courses tantôt l'un des deux corps entiers, tantôt leurs moitiés d'un même côté. Quand les chaudières sont alimentées par deux et même par trois fours, les flammes de chacun d'eux débouchent directement par un carneau spécial ou bien elles se réunissent toutes dans une capacité intermédiaire pour entrer, confondues dans un conduit unique. Les dessins de la Pl. II, *fig.* 9 à 16, permettent de se rendre compte des différentes combinaisons usitées.

Les carneaux s'arrêtent presque dans toutes les chaudières de manière à éviter le contact des flammes avec les parties susceptibles de n'être pas toujours baignées entièrement par l'eau. Cependant dans quelques usines, en petit nombre, le réservoir de vapeur est, dans sa partie infé-

vienre enveloppé par les gaz chauds à l'état dormant.
ouvent, pour éviter la déperdition de chaleur, il est
de maçonnerie sur une grande partie de sa hauteur,
naçonnerie étant formée, soit par une chemise spé-
n briques, soit par le prolongement du fourneau.
tôles inférieures sont le plus souvent protégées au
l'arrivée des flammes par un petit mur en briques
aires, d'une épaisseur de $0^m,11$. Dans les chau-
à chauffage extérieur, la hauteur de ce mur dépasse
lement le sommet de la voûte du rampant, d'une
té variable qui va quelquefois jusqu'à $1^m,50$. Le
ouvent, ce revêtement est annulaire et enveloppe
a périphérie de la chaudière; mais quelquefois il ne
que sur une partie de cette périphérie, par exemple
largeur du coup de feu; dans ce dernier cas, on lui
la forme d'un coin, en vue d'une division et d'une
ure distribution du courant gazeux. Dans quelques
sements, un vide de $0^m,06$ à $0,^m08$ est réservé entre
udière et la murette de protection; mais souvent la
osition est complète. Quand la murette n'existe pas,
pose en général le conduit d'arrivée de manière à di-
es flammes parallèlement aux parois de la chaudière.
possibilité de diriger les flammes ailleurs que dans la
ère, de manière à permettre la continuation de la
e du four, quand l'appareil à vapeur est arrêté,
e que dans une seule usine.

isseur et qualités des tôles. Clouures. — Les tôles
rées sont en fer de la qualité ordinaire pour chau-
sauf pour les viroles, ou plutôt pour les feuilles cor-
dant au coup de feu, qu'on fait souvent en tôles de
t quelquefois en tôles d'acier.

aisseur est en général celle que donne l'application
cienne formule réglementaire $e = 1,8\,D\,(n-1) + 3$.
e plus grand nombre d'établissements, les viroles
ures ont une surépaisseur de 1 à 2 millimètres, en

raison du surcroît de pression dû à la colonne d'eau. Les clouures, dans le bas comme dans le haut, sont en général à simple rangée de rivets ; la double rangée n'a été signalée qu'exceptionnellement.

On a cherché à diminuer le nombre des joints transversaux dans la région du coup de feu, en doublant la hauteur des feuilles qui alors ont dû être cintrées perpendiculairement au laminage ; mais cette mauvaise disposition est rare.

Alimentation. — L'alimentation se fait sur une conduite commune et par groupe, que les chaudières soient toutes verticales ou entremêlées de chaudières horizontales. Elle est continue dans quelques établissements, mais en général elle est intermittente. La continuité s'obtient, soit par l'intervention des ouvriers qui règlent à la main le degré d'ouverture des robinets, soit à l'aide d'appareils automoteurs mis en mouvement par les flotteurs. Quand l'injection a lieu par intermittence, les intervalles sont quelquefois très-rapprochés ; mais le plus souvent, ils correspondent à des abaissements d'eau de $0^m,25$ à $0^m,30$, c'est-à-dire à des volumes de 200 à 300 litres. Dans certaines usines, ces chiffres ne laissent pas d'être notablement dépassés ; ils s'élèvent jusqu'à 800, 1.000 et même jusqu'à 1.200 litres pour quelques chaudières à doubles corps.

Chaque chaudière est [en général munie d'un clapet de retenue.

L'alimentation a toujours lieu par les parties inférieures, que le tuyau y débouche directement, ce qui est le cas le plus général, ou bien qu'entrant plus haut il descende jusqu'aux couches du fond.

Dans quelques établissements importants, l'eau pénètre par la calotte, le plus en contre-bas possible de l'arrivée des flammes ; mais généralement, c'est par le cylindre du trou d'homme, c'est-à-dire plus ou moins à l'opposé du rampant, et à peu près à sa hauteur. Dans ce cas et pour

:r le contact immédiat du liquide relativement froid
des parois fortement chauffées, on a quelquefois pris
·écaution de recourber le tuyau alimentaire à son extré-
intérieure.

ıand le générateur a deux ou plusieurs corps, l'ali-
ıtation a lieu dans celui qui est chauffé par le retour
lammes.

ı se sert, pour l'alimentation, des eaux naturelles et
eaux de condensation de l'usine, mais sans mélange
lable des unes avec les autres. Les désincrustants sont
rarement employés. Les dépôts ont lieu sous forme
oues non adhérentes qui s'accumulent dans le fond,
l'incrustations qui tapissent généralement les viroles
ieures, bien que quelquefois elles s'étendent sur toute
ıuteur. On a remarqué, dans quelques usines, que les
ies les plus incrustées étaient celles du coup de feu ou
contiguës, et celles qui avoisinaient l'arrivée de l'ali-
ıtation. Dans d'autres, au contraire, ces viroles étaient
ôt corrodées et oxydées que entartrées. Ces différences
ent tenir à la qualité des eaux et à des circonstances
iales qui n'ont pas été signalées.

ppareils de sûreté. Indicateurs du niveau de l'eau. —
chaudières verticales sont en général munies, comme
ıreils indicateurs du niveau de l'eau, de robinets de
e et de flotteurs, dont les indications sont transmises
partie inférieure. Ou les tuyaux de jauge descendent
u'à hauteur d'homme, et les robinets peuvent s'ouvrir
fermer d'en bas, ou les flotteurs communiquent, par
renvois de mouvement, avec des tiges ou des chaînes
icales, terminées par des curseurs qui se meuvent de-
des cadrans placés de manière à être vus de terre.
ans ce même but, M. Planche, ingénieur aux forges
ıphy, avait imaginé un tube en verre, placé devant les
de l'alimenteur, où les oscillations du niveau de l'eau
ent traduites par des oscillations en sens inverse d'une

colonne de mercure; mais cet appareil ne paraît pas s'être encore propagé beaucoup au-delà de l'usine où il a été d'abord établi. D'autres dispositions moins ingénieuses ont aussi été conçues, mais sans succès.

Le tube en verre proprement dit, celui qui est pre par le règlement, n'est guère employé que dans le dé tement du Nord; il a le grand inconvénient de ne poı être consulté qu'à la condition, pour les ouvriers, de ı ter sur la plate-forme supérieure du générateur.

Les flotteurs sont souvent munis de sifflets d'alarme sont presque partout établis dans la chaudière m Sans nier que ces appareils ne soient soumis par mom à certains soubresauts, quelquefois violents, on estime général que ces mouvements n'ont pas d'inconvéni sérieux. Il n'y a que deux usines où ils soient disp dans des cylindres latéraux. Cependant une usine a connaître qu'à la suite d'avivages du feu dans le fo est arrivé parfois que l'eau est montée jusqu'aux papes et dans les conduites de vapeur; mais, en alimen aussitôt, l'eau a repris de suite son niveau.

Soupapes de sûreté. — Les chaudières portent, à partie supérieure, des soupapes dont la disposition et dimensions sont celles qui étaient prescrites par l'an règlement. Elles ne sont qu'exceptionnellement suscepti d'être déchargées de la partie inférieure de la chaudi mais dans un grand nombre d'usines, on se sert, dan but, quand il y a lieu, des robinets de purge et de vida ou de soupapes d'échappement spéciales, établies su conduites à vapeur communes.

On n'a généralement besoin d'y avoir recours qu'en d'arrêt des machines motrices, ou d'ébullitions tu tueuses, ébullitions qui, quand elles se présentent, en relation soit avec l'avivage du feu dans le four co pondant, soit avec une alimentation à l'aide d'eaux a

matières grasses ou organiques; mais ces faits
ıt à fait accidentels.

t à des excès de pression en fonctionnement normal,
udières d'un même groupe envoyant leur vapeur
ıe même conduite, qui constitue un vaste réservoir
n, les différences qui tendent à s'établir entre les
ıs ne peuvent acquérir d'importance. D'ailleurs, le
ıvent, la quantité de vapeur fournie par les flammes
des fours est plutôt inférieure que supérieure à
ble du travail mécanique nécessité par la mise en
des produits obtenus : c'est donc plutôt par défaut
r excès que le système général pèche, et dans
grandes usines on est obligé d'avoir recours à des
res supplémentaires à foyer ordinaire.

ımètres. — Dans les établissements qui comportent
ıd nombre de chaudières, il existe un manomètre
ıpe, disposé en général sur la conduite, à la vue du
:ien, près des machines motrices correspondantes.
ınt, dans quelques ateliers, surtout dans ceux qui
portent qu'un nombre restreint de fours, chaque
re est munie de son manomètre. Les indications
ı par ces appareils sont quelquefois transportées
dans le bureau de l'ingénieur chargé de la fabri-

d la pression s'abaisse trop, on active les chau-
de secours ou on ralentit la marche des machines.
au contraire, elle s'élève au delà de la mesure, on a
aux robinets d'échappement. Dans tous les cas, les
ıns manométriques n'ont jamais pour résultat de
r l'allure des fours, et ce n'est que tout à fait ex-
nellement qu'elles influent sur la marche de l'ali-
ion.

pendance entre la pression, le chauffage et l'alimen-
— L'indépendance est complète, du moins dans les
établissements, entre les régimes de la pression,

du chauffage et de l'alimentation. Cette indépendance ı paraît pas, en pratique, avoir jamais eu d'inconvénient s rieux. Il est bien arrivé qu'après des avivages de feux, d entraînements violents d'eau ont eu lieu, mais ces cas o été très-rares.

Quant à la vidange partielle d'une chaudière dans u autre à température moins élevée, par suite de l'appel d vapeurs, elle n'est pas à craindre en cours de travai et elle ne peut l'être à la mise en feu que si on n'a p pris à ce moment la précaution élémentaire de n'ouvrir l communications de chaque chaudière que lorsque la pre sion y a atteint sa hauteur normale.

Les écarts de température, qui sont surtout sensibl quand les fours sont à courant d'air forcé, dépendent, tout autres choses égales d'ailleurs, et de la température al solue que les flammes peuvent acquérir et des dispositio du rampant. Les expériences faites à ce sujet sont en pe nombre et peu concordantes dans leurs résultats. Les él ments manquent d'ailleurs pour les discuter.

Dans certaines usines et pour quelques chaudières ho zontales, les flammes, au sortir du rampant, sont reçu dans une chambre de combustion à la suite de laquel elles trouvent des cloisons creuses en briques qui peuve être considérées jusqu'à un certain point comme des app reils régulateurs. Mais ces dispositions n'ont pas été pr tiquées pour les chaudières verticales. Du moins elles l'avaient pas encore été au moment de l'enquête.

Avaries. — Les chaudières verticales alimentées par l flammes perdues des fours métallurgiques donnent-ell lieu à des avaries qui leur soient spéciales au moins p leur fréquence, sinon par leur nature ? A cette questi les réponses sont loin d'avoir été concordantes, et la seu conséquence à en tirer, c'est que de telles chaudières ét blies avec de bons matériaux et dans de bonnes conditior munies de carneaux d'une largeur convenable, bien pr

e l'arrivée des flammes, enfin bien surveillées, nt aucun risque caractéristique d'aucune na-utres termes, qu'avec les précautions suffi-curité n'est pas plus engagée avec ce système autre.

s auxquelles elles donnent généralement lieu rs, comme dans les chaudières ordinaires, ex-intérieures; leur nature et leur emplacement t donné lieu aux signalements suivants :

extérieures. — Elles se présentent surtout feu ou dans son voisinage. Les tôles s'y cri-les rivets, ou à leur suite, sur les recouvre-re part, les rivets tendent à jouer et il se produit ux joints. Ces fuites donnent naissance à des ocales qui, si elles ne sont pas aperçues et temps, deviennent de plus en plus profondes par compromettre la solidité de l'appareil. Ce surtout à craindre pour les tôles qui sont en la murette de protection ou avec les cendres aux pieds de la chaudière, quand les suinte-ent à mouiller ces parties.

cause d'usure, dans la même région, réside lité des tôles : si la soudure a été imparfai-, elles se boursouflent par place sous l'action ur intense et s'exfolient : de très-notables ré-paisseur sont parfois résultées de ce défaut de

ment des fuites ont été constatées au niveau u, et la cause en a été attribuée à l'irrégularité tation.

a présence de l'acide sulfurique dans les dépôts les fumées, elle n'a été signalée qu'exception-et la raison en est, suivant toute vraisemblance, ion des industriels n'a été appelée sur ce point très-peu de temps.

2° *Avaries intérieures.* — Elles n'ont donné lieu qu'à un petit nombre de constatations. Ce sont encore les viroles inférieures qui sont le plus attaquées : les corrosions y sont observées, surtout dans le voisinage de l'alimentati sous forme de granulations qui s'agrandissent peu à p et finissent par former de véritables sillons. Des piqû se manifestent aussi dans la zone d'oscillation du nive de l'eau.

On voit, d'après les renseignements recueillis, que tôles inférieures et surtout celles du coup de feu, s celles qui sont susceptibles de se détériorer le plus ra dement ; leur durée dépend de la qualité des matières e ployées, de l'allure du four, de la direction relative flammes à leur arrivée, des circonstances de l'alimentati de la section des carneaux, enfin du soin apporté à la s veillance et à l'entretien. Il en est qui ont dû être chang au bout de 3 mois, d'autres qui ne l'ont été qu'au bout de 1 20 ans. Dans les usines bien organisées leur durée moye varie depuis 2 et 5 ans jusqu'à 8 ou 10 ans.

Les réparations se font, en général, à l'aide de piè rapportées, mais, souvent aussi, on procède par ch gement de feuilles entières ou par fraction importante feuille.

Service de l'alimentation, de la surveillance et de l'e tretien des chaudières. — Quand les chaudières sont certain nombre, le service de l'alimentation est distinct celui de la conduite des machines : il est confié à des vriers spéciaux, dits alimenteurs. Chaque alimenteur s veille jusqu'à 16 et 20 chaudières, quand la disposition l'usine est favorable. Ces ouvriers fonctionnent sous ordres d'un chef alimenteur.

En ce qui concerne l'entretien, les chaudières serai soumises à des visites et à des nettoyages périodiques. nettoyages consisteraient, à l'extérieur, dans le ramona complet des parois ; à l'intérieur, dans l'enlèvement

dépôts, soit par des vidanges partielles sous pression et par des lavages complets après vidange totale, soit par un piquage à l'aide d'instruments appropriés quand le tartre est trop adhérent. La fréquence de ces opérations varierait suivant les circonstances qui sont à l'appréciation du service technique des usines. D'après les renseignements fournis, les ramonages sont le plus souvent hebdomadaires; mais quelquefois leurs intervalles vont jusqu'à un mois et exceptionnellement trois mois.

Les extractions ou vidanges partielles se font, suivant les besoins, tantôt plusieurs fois par jour, tantôt une fois par semaine. On procède aux lavages complets tous les quinze jours ou tous les mois. Enfin, les piquages auraient généralement lieu tous les mois ou toutes les six semaines; cependant, dans quelques usines, ils ne se feraient que semestriellement ou même une fois par an, à raison, soit de la pureté des eaux, soit surtout de la fréquence des extractions et des lavages.

Les ouvriers chargés de l'entretien doivent porter leur attention sur l'état des tôles : ils procèdent par frappage au marteau, et si cette opération leur a révélé quelque partie suspecte, ils en sondent l'épaisseur. Le chaudronnier est appelé quand la solidité paraît en cause. En général on procède au changement de la partie avariée par petites pièces rapportées.

Dans les établissements les plus importants, tout ce qui concerne les chaudières ressortit à un ingénieur spécial, qui est responsable du service de leur surveillance et de leur entretien. On mentionne sur un registre les faits qui intéressent chaque chaudière, notamment les visites faites, les avaries constatées et les réparations subies. Quelquefois l'alimentation donne aussi lieu à des inscriptions sur un carnet spécial qui est examiné tous les jours par le chef de service.

Entre cette organisation très-complète et celle qui est

pratiquée dans les usines où, en raison du petit nombre des appareils, la conduite et l'entretien sont confiés au mécanicien, il y a tous les intermédiaires.

II.

État résumé des explosions de chaudières verticales chauffées par les flammes perdues des fours métallurgiques.

Toutes les explosions signalées à l'administration figurent dans le tableau suivant :

DATE de l'explosion.	ÉTABLISSEMENT où a eu lieu l'explosion.	NATURE du four alimentant.	DATE de la mise en activité.	CIRCONSTANCES et causes probables de l'accident.	NOMBRE des victimes. Tués.	NOMBRE des victimes. Blessés.	POINTS de rupture des chaudières.
12 février 1866.	Usine du Creusot (Saône-et-Loire).	»	»	Déchirure annulaire et projection du fond supérieur en fonte, pendant la mise en pression. — La déchirure a été attribuée au froid extérieur très-intense (— 12°) qui coïncidait avec la mise en pression.	»	»	
10 octobre 1868.	Forges d'Imphy.	Deux fours à fondre la fonte grise pour l'appareil Bessemer.	1864.	Mauvaise conduite de l'alimentation. Le niveau de l'eau s'est abaissé au-dessous du sommet des carneaux : la tôle a rougi. La chaudière s'est divisée en deux tronçons, suivant une ligne de rivets transversale, à 8m,50 au-dessus du fond inférieur. Cette ligne de rivets avait été refaite quelques mois auparavant.	»	12	Voir fig. 17, Pl. II.
19 juillet 1873.	Forges de St-Bernard, près Clairvaux (Aube).	Quatre fours à puddler.	1862.	Amincissement extrême de la tôle, surtout aux rivures, par suite de corrosions résultant de fuites dans une région réparée en 1871 et recouverte par les cloisons en briques séparatives des carneaux. — Une feuille de la première virole a été détachée et projetée. La chaudière s'est en outre divisée en deux tronçons, à la naissance de la troisième virole.	12	9	Voir fig. 18.

ne sont pas nécessairement suivies de désastres, comme celles de Clairvaux et de Commentry : dans ces dernières, de même que dans une autre, celle d'Imphy, les déchirures ont commencé sur ou près de pièces rapportées dont les joints, sans doute en médiocre état, ont cédé dès qu'ils ont été entamés : l'eau et la vapeur ont alors fait irruption par des issues relativement très-grandes ; tandis que dans les autres explosions les clouures n'ayant pas été atteintes ou ayant résisté en raison de leur bon état, les ouvertures ont été très-restreintes, et les conséquences bien moins graves ; en troisième lieu, qu'à part trois accidents attribués, l'un à une circonstance fortuite et deux à des négligences dans l'alimentation, les autres se sont localisés dans une même région, celle de l'arrivée des flammes qui s'est trouvée en même temps en relation avec le débouché de l'alimentation. Cette région a d'ailleurs été signalée dans l'enquête comme le lieu le plus ordinaire des avaries, et il est naturel qu'il en soit ainsi, car c'est celle qui, dans le mode de construction le plus usité, supporte le plus de fatigue en raison de la fréquence et de l'amplitude des effets de dilatation et de contraction qui s'y exercent, et qui dès lors doit ressentir plus particulièrement le contrecoup des perturbations qui se produisent dans la marche. Elle doit donc être l'objet de mesures de précaution spéciales, et tout ce qui y touche doit être fait avec le plus grand soin.

Quant aux autres parties de ces chaudières, elles sont évidemment soumises aux causes de détérioration accidentelles ou permanentes qui se rencontrent dans tout générateur, quel que soit son système, et qui dépendent de la nature des eaux et des fumées, du mode d'installation du fourneau, de la surveillance plus ou moins attentive de l'appareil et surtout d'un entretien plus ou moins soigné.

Quelque meurtrières donc que puissent exceptionnellement devenir les explosions des grandes chaudières ver-

ticales, les causes de ces accidents et les moyens de les éviter ne diffèrent pas de ce type aux autres, et aucune raison n'existe pour soumettre, en principe, ces chaudières à un régime particulièrement restrictif. Tout générateur puissant, c'est-à-dire à grande masse d'eau et à pression élevée, peut, quel que soit son système, devenir très-dangereux dans le voisinage d'une agglomération d'ouvriers ; mais, avec les chaudières verticales, l'absence de protection et la hauteur de l'appareil donnent aux explosions une gravité telle, qu'il y a lieu de faire aux industriels des recommandations spéciales. On est donc amené à réclamer un surcroît d'attention dans leur conduite et dans leur construction. Cette observation, d'un caractère général, pourrait dispenser d'entrer dans d'autres détails. Toutefois, pour le cas où la Commission jugerait utile d'en vulgariser la connaissance, nous allons énumérer l'ensemble des mesures de précaution que la sûreté nous paraît commander ou conseiller : la plupart sont empruntées à la pratique des uns ou des autres des établissements les mieux dirigés ; on en trouve la trace dans l'analyse que nous avons donnée des résultats de l'enquête.

Ces mesures sont les suivantes :

1° PREMIER ÉTABLISSEMENT.

Protection des parties des chaudières situées en face du rampant, par l'établissement d'un revêtement en maçonnerie réfractaire. (Il importe d'éloigner cette murette de la surface des tôles à une distance de $0^m,08$ à $0^m,10$ au moins ; il serait bon que le rampant fût disposé de manière à diriger les gaz combustibles parallèlement aux parois de la chaudière.)

Pour les parties métalliques les plus exposées aux flammes, bon choix des matériaux, de manière à éviter les gerçures et boursouflures des tôles et les ruptures de rivets.

Pour les parties sujettes à de brusques variations de dilatation et de contraction, consolidation plus grande des joints, de manière à empêcher autant que possible les fuites, par exemple au moyen de clouures à double rangée de rivets.

Atténuation des écarts trop grands de température, dans le cas surtout de fours soufflés, en établissant autant que possible, à la sortie du rampant, une chambre de combustion et un récupérateur en briques à chicane qui ferait en même temps fonction de régulateur.

Dispositions telles que l'alimentation soit continue ou à intervalles très-rapprochés, pour atténuer les contractions brusques, cause capitale de la fatigue du métal. Dans le cas où ce mode d'alimentation serait impraticable, éloignement le plus grand possible de l'arrivée de l'eau alimentaire, par rapport au débouché des flammes.

Établissement d'appareils de retenue automatiques sur le tuyau de jonction avec la conduite d'alimentation et de soupapes d'arrêt sur le tuyau de vapeur, de manière à isoler tous les corps de chaudière les uns des autres en cas de besoin.

Carneaux bien proportionnés, en rapport avec la quantité de gaz affluents et en vue de faciliter le nettoyage extérieur de la chaudière.

Chaudières placées autant que possible *en dehors* des ateliers, eu égard à la gravité plus grande des conséquences des accidents.

2° SERVICE ET ENTRETIEN.

Emploi, dans le cas d'eaux corrosives ou très-incrustantes, de moyens propres à atténuer les conséquences de leur mauvaise qualité (*). Éviter le mélange des eaux calcaires avec les eaux provenant de la condensation.

(*) Quelques usines importantes n'ont pas hésité à établir des canalisations d'une assez grande longueur pour alimenter leurs chaudières avec des eaux convenables.

Bonne organisation de la surveillance en ce qui concerne imentation, c'est-à-dire contrôle facile et incessant du eau de l'eau sans qu'il soit nécessaire de monter sur la te-forme des chaudières.

Alimentation continue ou à intervalles très-rapprochés. oir ci-dessus aux conditions de premier établissement.)

Bon entretien de la chaudière, comportant : le ramonage toutes ses parties extérieures après chaque mise hors du four, la vérification fréquente et minutieuse de l'état s tôles inférieures même lorsqu'un revêtement les proe, des visites et des nettoyages intérieurs à interles convenables et pratiqués par des hommes compénts, enfin des réparations convenablement exécutées et n surveillées, en évitant de procéder par petites pièces portées.

Nettoyages très-fréquents de l'espace compris entre la rette et la chaudière, espace qui ne doit jamais être strué par les cendres.

Moyennant ces dispositions, nous estimons que ces appareils ne donneront pas lieu à plus de risques que les audières à grilles, dans les conditions ordinaires de ır emploi.

Quelques-unes de ces mesures ne sont, il est vrai, réaables qu'au moment de la construction; mais celles qui ncernent l'entretien et la surveillance le sont en service rmal; nous pensons que, bien suivies, elles suffiront ur faire reconnaître à temps les avaries et, par suite, à arter tout danger.

Les plus essentielles d'entre elles sont d'ailleurs prescrites r le projet de règlement qui vient d'être élaboré par la mmission centrale des machines à vapeur. Telles sont : translation des indications du niveau de l'eau, en vue de limenteur ou du chauffeur, l'établissement de clapets retenue sur les branchements d'alimentation et de soupes d'arrêt sur les tuyaux de vapeur, enfin l'obligation

de visites tant intérieures qu'extérieures faites par des hommes compétents.

Quant aux autres, elles paraissent des précautions à recommander, ou même des desiderata à indiquer, plutôt que des prescriptions à imposer. L'administration pourrait appeler sur leur utilité l'attention des industriels.

En résumé, la sous-commission est d'avis qu'il n'y a pas lieu d'imposer aux chaudières verticales des usines métallurgiques des prescriptions réglementaires spéciales, et que, convenablement observées, celles qui sont prévues dans le projet de décret dont l'étude vient d'être terminée donnent à la sécurité les garanties nécessaires; elle croit qu'il y aurait intérêt à porter à la connaissance des industriels et à recommander à leur attention les conditions de construction et d'entretien dont le détail est indiqué ci-dessus; elle estime surtout qu'il convient d'inviter les propriétaires des usines à réclamer de leurs agents un surcroît de précaution dans la conduite, la surveillance et la réparation de ces puissants appareils, à raison des conséquences redoutables qui peuvent résulter de leur explosion.

NOTE
SUR
L'ACTION DES MATIÈRES GRASSES
SUR
LES GÉNÉRATEURS A VAPEUR (*)

Par M. G. PEREYRA,
Ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines.

Depuis un certain nombre d'années, l'utilisation pour l'alimentation des générateurs de l'eau de condensation des vapeurs d'échappement des machines motrices s'est généralisée dans l'industrie. Cette pratique, bien que présentant quelques avantages, entre autres celui d'une économie de combustible, n'est pas sans inconvénients; des accidents nombreux en ont été la conséquence, et c'est aux matières grasses contenues dans ces eaux d'alimentation, que quelques ingénieurs les ont attribués.

Il y a lieu de distinguer deux cas: celui de l'emploi exclusif de l'eau de condensation et celui de l'emploi de cette eau mélangée à des eaux de source ou de rivière.

Le premier a fait l'objet d'une communication récente de M. Hétet, à l'Académie. Ce savant chimiste signale des corrosions profondes du métal des chaudières et la formation de dépôts noirs et denses mélangés d'oxyde de fer, qui adhèrent fortement aux surfaces et provoquent des coups de feu. Il indique ensuite le moyen d'éviter ces corrosions et les accidents qui s'ensuivent, par la neutralisation, à

(*) On rappelle que la commission des *Annales*, en publiant les mémoires qui lui sont adressés, n'entend ni juger, ni approuver les opinions émises par les auteurs.

l'aide de la chaux, des acides gras contenus dans les eaux d'alimentation. Ce procédé me paraît excellent, mais à la condition que les eaux ainsi traitées soient entièrement débarrassées par décantation, ou mieux par filtration, du savon calcaire qui se forme. La suite de cette note justifiera, je pense, ces dernières réserves.

Quant au mélange d'eau de condensation et d'eau de source ou de rivière, il donne naissance à des dépôts calcograisseux, dont les effets sur les générateurs font aujourd'hui l'objet de controverses nombreuses. Certains ingénieurs nient l'influence pernicieuse de ces dépôts, qu'ils considèrent comme n'ayant pas d'autres effets que les dépôts calcaires ordinaires; certains autres, au contraire, attribuent à ces dépôts une action fatale; d'autres enfin émettent une opinion mixte qui peut se résumer ainsi : dans certains cas, et avec certaines eaux, la présence de matières grasses dans les générateurs peut être la cause d'accidents nombreux.

C'est à cette dernière opinion que je me range, car les faits observés infirment ce que les deux premières ont de trop absolu. Mais dans quels cas et en présence de quelles eaux les matières grasses ont-elles une action pernicieuse? C'est ce qui n'a pas été défini, je crois, jusqu'à ce jour. Je ne prétends ni spécifier tous les cas possibles, ni formuler une théorie à l'abri de toute critique; je me borne à exposer les résultats de quelques observations et expériences, ainsi que les conclusions que je crois logique d'en tirer, et je les soumets à l'appréciation des spécialistes.

Propriétés des dépôts calcograisseux. — Dans un générateur qui avait subi des avaries diverses, j'ai recueilli un dépôt dont la composition est la suivante :

Carbonate de chaux.	83,747
Carbonate de magnésie.	2,707
Sulfate de chaux.	2,042
A reporter.	00,00

Report.	00,00
Chaux en excès.	3,137
Matières organiques.	2,240
Matières grasses.	1,010
Oxyde de fer.	2,225
Silice.	1,900
Eau.	0,800
Non dosé et perte.	0,192
Total.	100,000

Ce dépôt pulvérulent, de couleur grisâtre, adhérait à peine aux parois du générateur ; il présentait ce caractère spécial de ne pas se laisser mouiller par l'eau froide à la surface de laquelle il surnageait ; mais, par *l'ébullition*, il ne tardait pas à se laisser mouiller et à se mélanger au liquide.

Sur un même foyer, j'ai placé deux vases identiques, contenant la même quantité d'eau, et dans l'un j'ai ajouté une certaine quantité du dépôt calcograisseux précédent. L'ébullition, dans les deux cas, était très-différente : tranquille avec l'eau pure, tumultueuse avec l'eau et le dépôt. Cette dernière masse liquide présentait un aspect tout particulier : elle était *émulsionnée ;* son volume s'était considérablement accru ; elle était comparable, en tous points, à du *lait* en ébullition vive. L'expérience plusieurs fois répétée m'a montré que cette émulsion était d'autant plus intense, toutes choses égales d'ailleurs, que la quantité de dépôt était plus considérable ; mais j'ai pu constater qu'une proportion de 1/2 p. 100 environ était suffisante pour que le phénomène commençât à se produire.

L'ébullition de l'eau en présence, soit d'un dépôt calcaire ordinaire de générateur, soit de sels divers, tels que chaux carbonatée et sulfatée, magnésie carbonatée ou même calcinée, sulfate de baryte, etc., ensemble ou séparément, ne donnait pas lieu à semblable émulsion. Enfin, le même dépôt émulsionnant, calciné à haute température,

perdait toutes ses propriétés typiques; il se laissait mouiller *à froid* et ne produisait plus d'émulsion à l'ébullition.

Cette propriété émulsionnante du dépôt calcograisseux doit donc être attribuée nécessairement aux matières grasses contenues; il n'est pas supposable, en effet, que les matières organiques diverses qui ont disparu avec la graisse par la calcination puissent avoir une influence quelconque sur cette propriété, car la nature de ces substances est évidemment la même que celle des substances organiques que l'on rencontre dans les dépôts ordinaires de chaudières, et ces derniers ne sont pas émulsionnants.

J'ai fait également divers essais analogues de poudres calcograisseuses dans lesquelles les proportions de graisse variaient de 0,25 à 16 p. 100, la nature des matières minérales combinées restant toujours la même, soit de la chaux carbonatée et sulfatée, de la magnésie carbonatée, de la silice, etc.; et j'ai remarqué les mêmes phénomènes d'émulsion, sauf dans trois cas :

Celui d'une poudre calcograisseuse recueillie dans le ballon d'alimentation d'une sucrerie, qui contenait 0,75 p. 100 de matières grasses.

Celui d'une poudre recueillie dans un générateur actionnant un moteur à condensation, qui contenait 0,44 p. 100 de matières grasses.

Celui d'une poudre recueillie sur une tôle de générateur abandonnée aux intempéries atmosphériques pendant plus d'une année. (Le dépôt calcograisseux, au contraire, recueilli sur des tôles du même générateur, restées à l'abri, était émulsionnant.)

Ces trois dépôts se laissaient, d'ailleurs, mouiller à froid.

Enfin, j'ai fait d'autres expériences de même nature sur des dépôts calcograisseux très-riches en matières grasses (30 à 75 p. 100). L'analyse de ces derniers, je le remarque en passant, décelait une proportion d'oxyde de fer très-considérable, ce qui indiquait une corrosion intense des

parois métalliques des chaudières. Ces dépôts riches, après avoir été pulvérisés et mis dans l'eau, surnageaient sans ε laisser mouiller; mais, par l'ébullition, les parcelles disséminées dans la masse liquide ne tardaient pas à s'agglu- ner et à se déposer au fond du vase, ou à s'attacher aux arois.

Pour les poudres à faible teneur en matières grasses, u contraire, ce phénomène d'agglutination ne se mani- ıste pas; et, si après avoir produit une émulsion, on laisse ı poudre se déposer au fond du vase, on reconnaît qu'elle 'y *adhère pas*, même après un repos de plusieurs jours. 'émulsion se reproduit lorsque l'on échauffe le liquide à ouveau.

Une dernière expérience, qui m'a paru intéressante à éaliser, a consisté à reproduire au laboratoire un dépôt alcograisseux par évaporation d'eau calcaire additionnée e matières grasses. J'ai pris les eaux calcaires de quel- ues usines où la présence de dépôts émulsionnants m'avait té signalée; et, après avoir dosé la proportion de matières olides en dissolution, j'ai ajouté la quantité de matières rasses nécessaire pour que les dépôts obtenus par évapo- ıtion aient approximativement la teneur de 1/2 p. 100 en ıatière grasse. J'ai pu constater que les dépôts ainsi ob- ınus à *l'air libre* ne possédaient pas la propriété émul- ıonnante.

Cette expérience tend à prouver, à mon avis, que la ression est nécessaire pour qu'une combinaison émul- ıonnante de chaux et de matière grasse puisse se produire; t elle peut expliquer la propriété non-émulsionnante, dont ai parlé précédemment, de la poudre calcograisseuse ecueillie dans un ballon alimentaire où règne une pres- ıon à peine supérieure à la pression atmosphérique. Elle ourrait encore expliquer la propriété non-émulsionnante e la deuxième poudre à 0,44 p. 100 de matière grasse. our cette dernière, il ne m'a pas été possible de connaître

la pression sous laquelle elle s'était formée; mais je remarque que le moteur de l'usine est à condensation, ce qui permet de supposer de faibles pressions au générateur.

La composition de l'eau ne me paraît pas avoir, sur les propriétés de la poudre calcograisseuse, l'influence que certains ingénieurs lui attribuent. Les diverses poudres que j'ai examinées renferment toutes, en effet, les éléments ordinaires des eaux de source ou de rivière, mais en proportions variables, il est vrai. Si les propriétés des poudres ont varié, c'est seulement suivant la quantité plus ou moins grande de matière grasse contenue et suivant les circonstances qui ont accompagné leur formation.

Je résume ces propriétés diverses dans le tableau suivant :

Dépôt avec matières grasses en forte proportion.	Propriété corrosive. — Adhérence aux parois.	
Dépôt avec matières grasses en faible proportion. . . .	Formé sous faible pression.	Le dépôt est mouillé par l'eau à froid. — Mêmes propriétés que les dépôts calcaires ordinaires.
	Formé sous forte pression.	Le dépôt n'est pas mouillé par l'eau à froid ; — est mouillé à chaud ; — produit une émulsion par l'ébullition ; — n'est pas adhérent aux parois.

Action, sur les générateurs, des dépôts calcograisseux à faible teneur en matière grasse. — C'est en 1864 que les premiers accidents de générateurs attribués à la poudre calcograisseuse furent signalés en Allemagne. Plus tard, en 1867, M. Farcot fit une intéressante communication à la Société des ingénieurs civils, sur les avaries survenues à un générateur tubulaire de 160 mètres carrés de surface de chauffe, installé à l'usine de Pont-Remy. Ces avaries s'étaient manifestées par des fuites intenses aux clouures supérieures du foyer intérieur ; et elles furent attribuées, après de nombreuses recherches, à la poudre calcograisseuse.

A côté de ce générateur fonctionnaient des générateurs à bouilleurs, alimentés avec *les mêmes eaux*, et qui n'avaient subi aucune avarie. C'est là un fait digne de remarque.

Les accidents de même nature devinrent, dès ce moment, très-fréquents ; ils furent signalés notamment dans un grand

nombre de sucreries, et spécialement aux générateurs tubulaires et semi-tubulaires. Ils se manifestaient, dans les générateurs tubulaires, par des cassures aux clouures du foyer intérieur et par la rupture des entretoises; et aux semi-tubulaires par des ruptures à la plaque de coup de feu suivant la première clouure circulaire.

C'est à la poudre calcograisseuse seule que l'on a attribué ces accidents; car l'on remarqua que, du jour où la formation de cette poudre fut empêchée, les avaries cessèrent de se produire. Cette poudre ne se mouillant pas, disait-on, les parois du générateur se trouvent isolées du liquide rafraîchissant, se surchauffent, et les avaries s'ensuivent. Telle est l'explication, encore aujourd'hui adoptée, que l'on donnait de ces phénomènes.

Le surchauffage des tôles n'est pas douteux, la nature des avaries l'indique, comme aussi la présence de matières carbonisées dans les dépôts; mais, à mon avis, cette explication est erronée, car la poudre *n'adhère pas aux parois* du générateur, et, de plus, elle est *mouillée par l'eau à chaud*. Comment expliquerait-on, d'ailleurs, à l'aide de cette théorie, l'absence d'avaries que j'ai pu constater dans nombre de générateurs, soit à bouilleurs, soit semi-tubulaires, alimentés de la même manière que d'autres semblables, qui, eux, avaient subi des avaries? C'est la propriété émulsionnante de la poudre calcograisseuse, dont on ne tient pas compte, qu'il faut faire intervenir ici; et l'explication des phénomènes peut s'en déduire facilement.

Je remarque tout d'abord que, pour qu'un générateur fonctionne normalement, il est nécessaire, en premier lieu, que la quantité de chaleur fournie par le foyer, dans un temps donné, ne dépasse pas la quantité de chaleur que les parois du générateur peuvent transmettre au liquide à vaporiser dans ce même temps, et, en second lieu, que la chaleur qui traverse ces parois soit elle-même intégralement absorbée par le liquide.

Si cet équilibre vient à être rompu, soit par suite d'un excès de chaleur fourni par le foyer, soit par suite d'une diminution dans le pouvoir calorifique absorbant du liquide à vaporiser, il en résulte nécessairement une accumulation de chaleur dans les parois du générateur, se traduisant par une élévation considérable de leur température. Ce surchauffage se manifestera plus spécialement aux parties du générateur directement soumises à l'influence du foyer (surface de chauffe directe), aux plaques de coup de feu dans les générateurs à bouilleurs et semi-tubulaires, aux plaques tubulaires et ciels de foyers dans les générateurs tubulaires, etc., et aura pour effet de produire des dilatations anormales. L'arrêt de la chaudière survient-il, ou même le feu diminue-t-il d'intensité, les parties surchauffées se refroidissent les premières (*) et il en résulte alors, pendant la marche industrielle de la chaudière, une série de dilatations et de contractions intenses qui modifient à la longue la constitution moléculaire du métal, fatiguent les clouures et finissent par amener des fuites aux rivets, ou même des cassures de la tôle aux points les plus faibles.

Or, à mon avis, l'équilibre qui caractérise la marche normale d'un générateur se trouve rompu, quand la poudre calcograisseuse émulsionnante vient à se former ; car le mélange de vapeur et d'eau qui constitue l'émulsion, conséquence de la présence de cette poudre, possède un pouvoir calorifique absorbant moindre que celui de l'eau (**); le

(*) Ce refroidissement est souvent très-brusque lorsque, dans l'installation du générateur, la pratique de certaines règles a été négligée.

(**) L'eau pouvant absorber dans un temps donné 1.000 calories, la vapeur n'en peut absorber, dans le même temps, que 600. Le mélange de vapeur et d'eau a donc un pouvoir calorifique absorbant compris entre celui de l'eau et celui de la vapeur. — Ces chiffres sont extraits de l'ouvrage de M. Williams sur la combustion des charbons.

surchauffage de la tôle devra donc se produire et, dès ce moment, les accidents seront à craindre.

Les éléments qui pourront influer sur la production probable des avaries sont, d'une part, la quantité de poudre, et, d'autre part, le temps pendant lequel cette poudre agit.

De la quantité de poudre dépend, en effet, l'intensité de l'émulsion et, par suite, la capacité calorifique absorbante du mélange d'eau et de poudre. Quant au temps d'action, son influence me paraît évidente; car, dans le travail industriel, les causes de refroidissement d'un générateur se reproduisent périodiquement; il en résulte alors une altération d'autant plus profonde de la constitution moléculaire du métal que les allongements et contractions auront été plus nombreux et, par suite, que la poudre aura agi pendant plus de temps.

Je n'ai pas besoin d'ajouter que si, pour une valeur déterminée des éléments qui précèdent, la quantité de chaleur fournie reste au-dessous d'un certain maximum, l'équilibre d'une marche normale ne sera pas détruit; le surchauffage des parois ne se produira dès lors pas, mais, par contre, la production de vapeur sera moindre.

On conçoit donc que pour chaque générateur, dans lequel une poudre calcograisseuse émulsionnante vient à se former, il existe, entre la quantité de chaleur fournie, ou la quantité de combustible brûlé, la quantité de poudre et le temps d'action de cette dernière, une relation nécessaire et caractéristique de ce générateur sous le rapport de sa sensibilité à l'action de la poudre; et l'on conçoit aussi qu'en pratique, lorsque l'un de ces trois éléments atteint ou dépasse la limite déterminée par cette relation même, un accident survienne fatalement, tandis qu'au-dessous de cette limite aucun accident ne sera à craindre.

N'est-ce pas cette théorie qu'il y a lieu d'invoquer dans l'explication des faits suivants? Les générateurs semi-tubulaires de 160 mètres carrés de surface de chauffe d'une

sucrerie du département de l'Aisne ont *tous* été alimentés par de l'eau calcaire mélangée d'eau de condensation graisseuse; ils n'ont subi aucune avarie pendant la première année de fabrication. La seconde année, au contraire, ils ont *tous* manqué, par suite d'une cassure identique de la tôle, à la première clouure circulaire (*). Dans une usine des environs de Paris, des générateurs à bouilleurs de 72 mètres carrés de surface de chauffe fontionnent journellement depuis plusieurs années avec de la poudre calcograisseuse émulsionnante, et n'ont subi aucune avarie.

La sensibilité propre d'un générateur à l'action de cette poudre n'est pas connue, les observations, à cet égard, n'ayant pas été assez nombreuses, et l'expérience directe étant difficilement réalisable; mais on peut cependant prévoir que tel type de générateur est plus sensible que tel autre. C'est ce que les considérations qui vont suivre permettent, je crois, de décider.

Parmi les générateurs couramment employés dans l'industrie, on rencontre ceux à surface de chauffe restreinte, tels que les générateurs à bouilleurs, dont la surface de chauffe dépasse rarement 65 à 70 mètres carrés, et ceux à grande surface de chauffe, tels que ceux du système tubulaire et semi-tubulaire dont la surface de chauffe atteint souvent 200 mètres carrés. C'est cette classification générale que je vais prendre, sans qu'il soit indispensable de fixer les limites exactes de chaque catégorie.

Or, dans un générateur quelconque, la quantité de combustible brûlé est proportionnelle à la surface de chauffe; d'un autre côté, la grille à combustion doit être, en vue d'une bonne utilisation, proportionnelle en surface à la quantité de combustible brûlé et, par suite, à la surface

(*) C'est à la suite de ces avaries que l'on supprima l'emploi de l'eau calcaire. L'alimentation des générateurs fut faite, dès ce moment, avec l'eau de condensation des machines et des appareils évaporatoires. Aucun accident n'est survenu depuis.

de chauffe. Mais, pratiquement, diverses considérations, et, entre autres, la difficulté d'entretenir et nettoyer les feux sur les grandes grilles, ont amené les constructeurs à limiter les dimensions des foyers; on peut donc conclure que, dans les générateurs à grande surface de chauffe, on doit nécessairement brûler, par unité de surface de grille, des quantités considérables de combustible.

La chaleur fournie à la surface de chauffe directe ne pourra donc être intégralement absorbée par le liquide à vaporiser qu'autant que le pouvoir calorifique absorbant de ce dernier sera suffisant. Or, la présence de la poudre calcograisseuse émulsionnante a précisément pour effet de réduire ce pouvoir calorifique absorbant, et l'on conçoit, vu la grande quantité de combustible brûlé, qu'une très-faible quantité de cette poudre suffise pour rompre l'équilibre, de marche normale, entre la chaleur fournie et la chaleur absorbée, et pour amener ainsi le surchauffage des tôles avec les accidents qui l'accompagnent. Les générateurs à grande surface de chauffe, en un mot, sont plus sensibles à l'action de la poudre que ceux à surface de chauffe restreinte.

C'est ce que les faits, d'ailleurs, viennent confirmer : avant l'introduction dans l'industrie du système tubulaire et semi-tubulaire, les accidents par la poudre calcograisseuse étaient très-rares ; l'existence même de cette poudre était à peine soupçonnée ; à l'usine de Pont-Remy, par exemple, les générateurs à bouilleurs (surface de chauffe restreinte) alimentés à l'eau calcaire et à l'eau graisseuse se comportaient très-bien. Au contraire, un générateur tubulaire de 160 mètres carrés de surface de chauffe, alimenté de la même manière, a subi des avaries nombreuses. Aujourd'hui encore, dans une usine où la poudre calcograisseuse émulsionnante se produit d'une façon constante dans des générateurs à bouilleurs de 72 mètres carrés de surface de chauffe, ces derniers se comportent très-bien. Dans telle

autre usine, au contraire, les générateurs de 160 mètres carrés de surface de chauffe ont tous subi des accidents par la poudre calcograisseuse, etc.

En résumé, lorsque des matières grasses sont introduites dans un générateur, il se forme des dépôts ferrograisseux ou calcograisseux agissant sur ce générateur d'une façon différente, suivant que la teneur de ces dépôts en matières grasses est plus ou moins élevée, et que les pressions sous lesquelles ils se sont formés sont elles-mêmes plus ou moins élevées. Si le dépôt est très-riche en matières grasses, il est adhérent, corrosif, et amène des coups de feu aux points d'adhérence; s'il est peu riche en matières grasses et s'il s'est formé sous faible pression, il agit tout au plus comme les dépôts ordinaires de chaudières à vapeur; mais s'il s'est formé à haute pression, son action est toute spéciale, il peut occasionner des accidents de surchauffage. La production de ces accidents dépend, pour un *générateur déterminé*, de la quantité de dépôt, du temps d'action et de la quantité de combustible brûlé.

Ces trois éléments, dépassant certaines limites, un accident surviendra *fatalement;* au-dessous de ces limites, au contraire, le générateur peut fonctionner *sans danger*. Enfin, un générateur à grande surface de chauffe est plus sensible à l'action de ce dépôt qu'un générateur à surface de chauffe restreinte.

VARIATIONS DES ANGLES PLANS DES CLIVAGES

SUR

LES FACES DES PRINCIPALES ZONES DANS LE PYROXÈNE, L'AMPHIBOLE, L'ORTHOSE ET LES FELDSPATHS TRICLINIQUES

Par M. THOULET.

Lorsqu'on examine au microscope une lame mince pratiquée dans l'épaisseur d'une roche, on voit que les divers cristaux qui y sont contenus sont atteints par les deux surfaces de la lamelle sous les angles les plus variés; pour quelques-uns d'entre eux seulement, le hasard a permis que les sections se fissent parallèlement ou à peu près à certaines faces remarquables du cristal supposé complet et isolé. Or c'est justement à ces cas spéciaux qu'on se rapporte dans la pratique pour déterminer l'espèce minéralogique du cristal et de ses analogies au moyen de l'angle fait avec un côté par la direction d'extinction entre les nicols croisés (*). Une autre cause vient encore troubler la netteté déjà si rare des contours des cristaux noyés dans l'épaisseur de la lame mince. Les cristaux, par suite de circonstances spéciales tantôt inhérentes à leur mode de formation, tantôt accidentelles et consécutives à la formation du minéral, ont leurs bords plus ou moins déchiquetés, dentelés et corrodés. Il serait donc à désirer qu'une section étant donnée, on pût se rendre un compte, au moins approximatif, de l'orientation de cette section par rapport aux faces typiques de l'espèce cristalline. Pour résoudre ce pro-

(*) Voir à ce sujet le travail publié par M. Michel Lévy, dans les *Annales des mines*, 2 vol. de 1877, p. 392.

blème, on doit chercher à s'appuyer sur un caractère assez général pour se laisser reconnaître au microscope dans les fragments presque les plus petits, offrant en soi un caractère de fixité absolue et se reliant directement, par sa nature même, avec les éléments connus du cristal complet. Le clivage répond à toutes ces conditions.

Le problème dans toute sa généralité peut donc s'énoncer de la manière suivante : « Étant données de formes et de « dimensions angulaires les traces des clivages d'un mi- « néral sur une section artificielle quelconque, reconnaître « la position de cette face artificielle par rapport aux élé- « ments du cristal type. » Ainsi énoncé, le problème vient prendre sa place parmi les questions appartenant au domaine de la cristallographie mathématique.

L'équation générale pourrait s'obtenir de la façon suivante :

1° Prendre pour axes de coordonnées trois droites faisant entre elles des angles α, β, γ; en adoptant les données cristallographiques de Miller, ces droites sont les axes du cristal considéré et comprennent l'ensemble des six systèmes au moyen de variations convenables des valeurs α, β et γ.

2° Ramener l'un des deux plans de clivage à passer par l'origine des coordonnées en se déplaçant parallèlement à lui-même.

3° Supposer un plan mobile caractérisé par ses indices, c'est-à-dire par les distances auxquelles il coupe les axes. Ce plan étant susceptible de représenter toutes les modifications possibles du cristal, on cherchera l'équation de son intersection avec le plan de clivage.

4° On fera la même opération pour le second plan de clivage, et lorsqu'on possédera les deux intersections de ces plans avec le plan considéré, on en calculera l'angle qui sera la projection de l'angle des deux clivages sur une face quelconque du cristal.

L'opération est un problème de géométrie analytique, et, dans un cas particulier, il serait certainement beaucoup plus commode de l'exécuter à l'aide d'une épure; elle pourrait être notablement simplifiée en prenant trois axes ou au moins deux d'entre eux rectangulaires; on se placerait ainsi dans les conditions des cinq premiers systèmes. Il suffirait en outre de modifier l'équation générale en disposant de deux coordonnées du plan mobile, tout en laissant varier la troisième, pour que ce plan fût assujetti à décrire une zone dans son mouvement, et pour obtenir ainsi l'équation de la courbe figurant la variation de la projection de l'angle des clivages sur toutes les facettes appartenant à une certaine zone spéciale d'un cristal.

Mais un pareil travail, quel que puisse être son intérêt au point de vue mathématique, serait peu utile dans la pratique, qui, dans ses déterminations, se borne à un nombre restreint de cas particuliers, placés dans des conditions de simplicité relative et bien étudiés géométriquement et optiquement. En outre, le microscope ne permet la mesure des angles, mêmes plans, qu'avec une certaine approximation. L'intérêt se concentre sur quelques minéraux et sur quelques-unes de leurs zones. C'est justement l'étude de ces cas spéciaux que se propose le présent travail.

Je me suis donc borné aux cas particuliers spécialement intéressants dans les études pétrologiques. J'ai considéré uniquement les trois zones parallèles aux axes cristallographiques, celles-ci étant les seules dans lesquelles on ait étudié graphiquement, jusqu'à ce jour, les valeurs diverses des angles d'extinction, et j'ai opéré ces déterminations sur les minéraux les plus répandus dans les roches éruptives : le pyroxène, l'amphibole, l'orthose et les feldspaths tricliniques.

PYROXÈNE.

Le pyroxène appartient au système monoclinique; il cristallise sous la forme d'un prisme plus ou moins modifié; trois zones offrent un intérêt particulier : les zones pg^1, ph^1 et h^1g^1. Les clivages sont au nombre de cinq; deux sont respectivement parallèles aux faces m du prisme primitif, ils sont souvent interrompus, mais très-nets; un troisième est parallèle à h^1, un quatrième à g^1, et enfin le cinquième est parallèle à la base p. Les trois derniers sont beaucoup moins parfaits que les deux premiers; la plupart du temps ils ne se distinguent pas. Aussi baserons-nous nos calculs uniquement sur ceux-ci et ne citerons-nous les autres que pour être aussi complets que possible et permettre de les reconnaître et d'en tirer d'utiles informations dans les cas exceptionnels où ils seraient visibles. L'altération du minéral et son infiltration par des matières étrangères peuvent les faire apparaître, et d'ailleurs il est certaines variétés de pyroxène telles que le diallage, par exemple, qui ne diffèrent du minéral type que par la prédominance du clivage parallèle à h^1, l'un de ceux qui viennent d'être cités comme étant généralement imparfaits.

Avant d'entrer dans le détail des calculs, il convient de prévenir que toutes les données angulaires dont nous nous servirons sont empruntées à la minéralogie de M. Des Cloizeaux.

Zone pg^1. — Supposons le prisme primitif constitué par les deux clivages parallèles aux faces m et dont les deux faces OEHG et AEH'G (*fig.* 23, Pl. II) donnent les directions respectives; dans toute section appartenant à la zone pg^1, les traces de ces deux clivages seront deux à deux parallèles aux intersections OE', AE' par les deux facettes prismatiques de plans AOE' inclinés d'un certain angle variable sur le plan de la base AOE. Elles offriront donc, dans leur

ensemble, la figure d'un double triangle ou d'un parallélogramme dont il faut déterminer les angles $\eta = AOE' + OAE'$ et $\gamma = OE'A = 180 - \eta$, variables d'après l'inclinaison. Nous allons donc supposer un plan assujetti à passer par la droite AO, axe de zone, joignant les sommets A et O du prisme, tournant autour de cette droite et coupant le demi-prisme suivant un triangle dont nous calculerons les angles OAE' et AOE'; leur somme donnera l'angle η. Sur toutes les sections de la zone, le clivage parallèle à g^1 aura ses traces parallèles à la diagonale AO (*fig.* 24), celles du clivage parallèle à h^1 se projetteront parallèlement à la seconde diagonale, et enfin celles du dernier clivage se confondront avec celles du clivage parallèle à g^1 (*).

Dans les tableaux des valeurs calculées, nous désignerons chaque section suivant la notation de Lévy par la lettre *e* marquée d'un exposant, dont le numérateur correspondra à l'indice mesuré sur les arêtes identiques AE et OE du prisme primitif et le dénominateur à l'indice mesuré sur l'arête EG. Il importe de se rappeler que ces troncatures sont artificielles et de ne pas s'étonner si les exposants de *e* possèdent des valeurs qu'on n'est pas accoutumé à rencontrer quand on s'occupe des troncatures naturelles des angles des cristaux. Ces notations, parfaitement conformes aux conventions générales adoptées en cristallographie, auront l'avantage de permettre de comparer la facette factice avec la facette naturelle dont la position est la plus voisine de la sienne.

Calcul. — Par la droite KE menons le plan perpendiculaire à la ligne OA; sa trace KL sur le plan AOE' fera avec KE un angle LKE variable suivant l'inclinaison du plan AOE' et que nous désignerons par ρ. Cette valeur ρ

(*) Dans les divers schémas des clivages, le clivage *m* est représenté en traits continus, le clivage *p* en traits, le clivage h^1 par des points, et enfin le clivage g^1 par des points et des traits.

sera la donnée fondamentale des triangles sphériques que nous allons avoir à résoudre.

On résoudra d'abord le triangle sphérique A'B'C' décrit du point O comme centre avec l'unité pour rayon, où l'on connait

$$A' = \rho,$$
$$B' = pm = 100^\circ 57' \text{ (Des Cl.)},$$
$$C' = 42^\circ 24' 39'' \text{ (Des Cl.)},$$

en posant $\operatorname{tg} \varphi' = \cos c' \operatorname{tg} B' = \cos 42^\circ 24' 39'' \operatorname{tg} 100^\circ 57'$,

on obtient $AOE' = b'$, $\operatorname{cotg} b' = \dfrac{\operatorname{cotg} c' \sin(A' + \varphi')}{\sin \varphi'} =$

$$= \frac{\operatorname{cotg} 42^\circ 24' 39'' \sin(\rho + \varphi')}{\sin \varphi'}.$$

De même, dans le triangle sphérique A″B″C″, on connaît

$$A'' = \rho,$$
$$B'' = 180 - 100^\circ 57' = 79^\circ 3',$$
$$c'' = c' = 42^\circ 24' 39'',$$

en posant $\operatorname{tg} \varphi'' = \cos c'' \operatorname{tg} B'' = \cos 42^\circ 24' 39'' \operatorname{tg} 79^\circ 3'$,

il vient $\operatorname{cotg} b'' = \dfrac{\operatorname{cotg} c'' \sin(\rho + \varphi'')}{\sin \varphi''} =$

$$= \frac{\operatorname{cotg} 42^\circ 24' 29'' \sin(\rho + \varphi'')}{\sin \varphi''}.$$

La somme $b' + b'' = \eta$, et d'autre part, $\gamma = 180 - \eta$.

Le rapport $\dfrac{AE}{EE'}$ donne l'exposant de e:

$AE = \dfrac{KE}{\sin 42^\circ 24' 39''}$ (triangle rectiligne rectangle AKE),

$EE' = KE \operatorname{tg} EKE'$ (triangle rectiligne rectangle EKE'),

$\operatorname{tg} EKE' = \dfrac{\operatorname{tg} \rho}{\cos(ph^1 - 90)} = \dfrac{\operatorname{tg} \rho}{\cos 16^\circ 1'}$, car $ph^1 = 106^\circ 1'$ (Des Cl.)

$$\frac{AE}{EE'} = \frac{KE \cos 16^\circ 1'}{KE \sin 42^\circ 24' 39'' \operatorname{tg} \rho} = \frac{\cos 16^\circ 1'}{\sin 42^\circ 24' 39'' \operatorname{tg} \rho}.$$

PYROXÈNE. — Zone pg^1.

ρ	η	γ		ρ	η	γ	
0°	84° 49′ 18″	95° 10′ 42″	p	50°	111° 27	68° 33′	$e^{1.2}$
5	85 3	94 57	$e^{16.8}$	55	117 45	62 15	e^{1}
10	85 45	94 15	$e^{8.1}$	60	124 50	55 10	$e^{0.83}=e^{\frac{4}{5}}$
15	85 59	94 1	$e^{5.3}$	65	132 41	47 19	$e^{0.66}=e^{\frac{2}{3}}$
20	88 38	91 22	$e^{3.9}$	70	141 14	38 46	$e^{0.52}=e^{\frac{1}{2}}$
25	90 51	89 9	e^{3}	75	150 22	29 38	$e^{0.33}=e^{\frac{1}{3}}$
30	93 40	86 20	$e^{2.5}$	80	159 59	20 1	$e^{0.25}=e^{\frac{1}{4}}$
35	97 5	82 55	e^{2}	85	169 55	10 5	$e^{0.13}=e^{\frac{1}{8}}$
40	101 9	78 51	$e^{1.7}$	90	180 0	0 0	g^{1}
45	105 55	74 5	$e^{1.4}$				

Zone ph^1. — Pour obtenir les traces des deux clivages principaux dans les sections appartenant à la zone ph^1, supposons que le triangle E_1EO (*fig.* 25) tourne autour de la droite E_1E en faisant un angle variable avec cet axe de zone et le plan p. Quelle que soit l'inclinaison de ce triangle, les droites $O'E_1$ et $O'E$ seront égales, la figure formée par les traces des clivages faciles sera un losange déterminé aussitôt qu'on connaîtra, en fonction de ρ, l'angle $\gamma = 2E_1EO'$ et l'angle $\eta = E_1O'E = 180 - \gamma$. Les trois autres clivages fourniront des traces parallèles aux diagonales du losange (*fig.* 26), et par conséquent perpendiculaires entre elles.

Calcul. — Dans le triangle sphérique A′B′C′ (*fig.* 25), on connaît

$$A' = \rho,$$
$$B' = pm = 100°\ 57' \text{ (Des Cl.)},$$
$$c' = 47°\ 35'\ 21'' \text{ (Des Cl.)},$$

posant $\operatorname{tg} \varphi' = \cos c' \operatorname{tg} B' = \cos 47°\ 35'\ 21'' \operatorname{tg} 100°\ 57'$,

il vient
$$\operatorname{cotg} b' = \frac{\operatorname{cotg} c' \sin(\rho + \varphi')}{\sin \varphi'} =$$
$$= \frac{\operatorname{cotg} 47°\ 35'\ 21'' \sin(\rho + \varphi')}{\sin \varphi'}.$$

On retranchera $\rho + \varphi'$ de 180° pour avoir la troncature sur l'angle A, et l'on en retranchera 90° pour obtenir la troncature en O :

$$\gamma = 2b', \qquad \eta = 180 - \gamma.$$

La notation à donner à la troncature se trouvera de la façon suivante :

L'exposant sera $\frac{OE}{OO'}$;

$$OE = \frac{OK}{\sin 47^\circ 35' 21''} \text{ (triangle rectiligne rectangle KOE)},$$

$$OO' = \frac{OK \sin\rho}{\sin[180 - (\rho + ph^1)]} \text{ (triangle rectiligne rectangle KOO')},$$

$$\frac{OE}{OO'} = \frac{\sin[180 - (\rho + 106^\circ 1')]}{\sin\rho \sin 47^\circ 35' 21''},$$

ce qui donnera l'indice de la troncature O, car dans ce cas $ph^1 = 106^\circ 1'$, et

$$\frac{AE}{AA'} = \frac{\sin[180 - (\rho + 73^\circ 59')]}{\sin\rho \sin 47^\circ 35' 21''}.$$

ce qui fournira l'indice de la troncature *a*, puisque dans ce cas $ph^1 = 73^\circ 59'$.

On obtient ainsi le tableau suivant présentant, d'une part, les angles plans des traces des clivages sur les troncatures *a*, et, d'autre part, les angles plans des traces de ces mêmes clivages sur les troncatures O.

Troncatures sur les angles A et O du prisme primitif. — Zone ph^1.

ρ	γ	η		ρ	γ	η	
0	95° 11′	84° 49′	p	0	95° 11′	84° 49′	p
5	94 0	86 0	$a^{15.25}$	5	96 50	83 10	$o^{14.51}$
10	92 46	87 14	$a^{7.06}$	10	99 0	81 0	$o^{7.01}$
15	92 56	87 4	$a^{5.23}$	15	101 40	78 20	$o^{4.48}$
20	93 4	86 56	$a^{3.95}$	20	104 54	75 6	$o^{3.20}$
25	93 38	86 22	$a^{3.16}$	25	108 42	71 18	$o^{2.42}$
30	94 38	85 22	$a^{2.63}$	30	113 8	66 52	$o^{1.88}$
35	96 8	83 52	$a^{2.23}$	35	118 14	61 46	$o^{1.43}$
40	98 4	81 56	$a^{1.92}$	40	124 2	55 58	$o^{1.18}$
45	100 32	79 28	$a^{1.67}$	45	130 32	49 28	$o^{0.98}=o^1$
50	103 32	76 28	$a^{1.46}$	50	137 44	42 16	$o^{0.72}=o^{\frac{2}{3}}$
55	105 50	74 10	$a^{1.28}$	55	145 38	34 22	$o^{0.54}=o^{\frac{1}{2}}$
60	111 18	68 42	$a^{1.12}$	60	154 6	25 54	$o^{0.38}=o^{\frac{1}{3}}$
65	116 6	63 54	$a^{0.98}=a^1$	65	163 6	16 54	$o^{0.23}=o^{\frac{1}{4}}$
70	121 38	58 22	$a^{0.85}=a^{\frac{5}{6}}$	70	172 24	7 36	$o^{0.1}=o^{\frac{1}{10}}$
75	127 50	52 10	$a^{0.72}=a^{\frac{3}{4}}$	73°59′	180 0	0 0	h^1
80	134 46	45 14	$a^{0.60}=a^{\frac{2}{3}}$				
85	142 24	37 36	$a^{0.49}=a^{\frac{1}{2}}$				
90	150 38	29 22	$a^{0.37}=a^{\frac{1}{3}}$				
95	159 26	20 34	$a^{0.26}=a^{\frac{1}{4}}$				
100	168 40	11 20	$a^{0.14}=a^{\frac{1}{7}}$				
105	178 6	1 54	$a^{0.02}=a^{\frac{1}{50}}$				
106°1′	180 0	0 0	h^1				

Zone *pdm*. — Pour étudier les clivages dans les faces de cette zone, nous ferons tourner un plan autour d'une droite passant par le centre de la base *p* et parallèle à l'arête *d* du prisme primitif. Cette droite nous servira ainsi d'axe de zone. Dans ces conditions,

1° Les clivages parallèles à *m* donneront lieu, par leurs traces, à des parallélogrammes (*fig.* 27) où l'angle plan *b* : *d*

variera de $180 - 84° 49' 48'' = 95° 10' 42''$ à l'angle plan de la face *m*, soit $101° 45' 3''$, ρ variant de o à $79° 3'$;

2° Le clivage parallèle à *p* fournira des traces parallèles aux arêtes *bd* (↘) ou aux petits côtés des parallélogrammes maximum examinés dans le cas précédent;

3° Le clivage parallèle à g^1 donnera avec l'axe de zone et du côté antérieur du prisme orienté des angles passant de la valeur $180 - (42° 24' 39'' + 95° 10' 42'') = 42° 24' 39''$ à la valeur $78° 14' 27''$;

4° Le clivage parallèle à h^1 fera avec ce même axe de zone, mais du côté postérieur du prisme supposé orienté, des angles variant de $47° 35' 21''$ dans le plan *p* à $101° 45' 3''$.

Dans le troisième et le quatrième cas, les directions maximum seront parallèles aux longs côtés des parallélogrammes maximum.

En résumé on voit que la variation des traces de clivages importantes sera trop faible pour rendre nécessaires les longs calculs d'une table dans le genre des précédentes.

Zone h^1g^1. — Dans toutes les faces de cette zone, les deux clivages parallèles à *m*, le clivage parallèle à h^1 et le clivage parallèle à g^1 auront les traces parallèles entre elles et aux côtés du parallélogramme représentant la face. Ce parallélogramme pourra évidemment être un rectangle dans certaines positions. Au contraire, le clivage parallèle à *p* coupera toutes les traces suivant un certain angle que nous appellerons δ et que nous allons calculer.

Dans ce but, nous supposerons un plan assujetti à passer par l'axe du prisme primitif jouant le rôle d'axe de zone, et nous ferons tourner ce plan autour de l'axe de zone d'un angle ρ' variant de zéro quand le plan coïncidera avec KEQG (*fig.* 28), à 90° lorsqu'il coïncidera avec KOQH. Dans cette série de positions successives, le plan sera parallèle à toutes les facettes susceptibles d'appartenir à la zone h^1g^1.

De K, comme centre, menons le triangle sphérique composant les trois faces p, KEQG et KNQ, et pour ramener ce triangle à un cas connu de triangle rectangle, prenons le triangle polaire où l'on connaît

$$\begin{aligned} a'' &= \pi - A' = \pi - ph^1 = 179°60' - 106°1' = 73°59', \\ b'' &= \pi - \rho', \\ C'' &= \pi - 90° = 90, \end{aligned}$$

et où l'on calculera A″ par la formule

$$\operatorname{tg} A'' = \frac{\operatorname{tg} 73°59'}{\sin \rho'} \quad \text{et} \quad a' = 180 - A''.$$

Cette formule a servi à dresser le tableau suivant. Il faut maintenant connaître la notation de la facette, c'est-à-dire le rapport existant entre les deux segments coupés par cette face sur les deux arêtes adjacentes à l'arête parallèlement à laquelle on mène la section. Supposons que nous cherchions la notation de la face E_1N_1 menée parallèlement à l'arête h et coupant les arêtes b et d l'une en E_1 et l'autre en N_1; cette notation sera la lettre h avec un exposant égal au rapport $\frac{OE_1}{ON_1}$.

Le triangle OE_1K_1 donne

$$\frac{ON_1}{\sin OE_1N_1} = \frac{OE_1}{\sin E_1N_1O},$$

or en posant $EKN = \sigma$, il vient

$$\begin{aligned} OE_1N_1 &= KEO - \sigma = 47°35'21'' - \sigma, \\ E_1N_1O &= 180 - \{OE_1N_1 + E_1ON_1\} = \\ &= 180 - \{47°35'21'' - \sigma + 84°49'18''\}, \\ E_1N_1O &= 47°35'21'' + \sigma, \\ \frac{OE_1}{ON_1} &= \frac{\sin E_1N_1O}{\sin OE_1N_1} = \frac{\sin(47°35'21'' + \sigma)}{\sin(47°35'21'' - \sigma)}. \end{aligned}$$

L'angle σ est le côté b' du triangle sphérique considéré plus haut ou le B″ du triangle polaire, et il sera donné par la formule

$$\operatorname{tg}(\pi - \rho') = \operatorname{tg} B'' \sin 73^\circ 59',$$

$$\operatorname{tg} B'' = \frac{\operatorname{tg}(\pi - \rho')}{\sin 73^\circ 59'},$$

$$\sigma = \pi - B''.$$

Angles du parallélogramme de section (ρ est compté à partir de KO = o). — ***Zone*** $h^1 g^1$.

ρ	δ	$180 - \delta$		ρ	δ	$180 - \delta$	
0°	106° 1′	73° 59′	g^1	45°	101° 28′	78° 32′	$h^{39.28}$
5	105 58	74 2	$g^{1.20}$	50	100 27	79 33	$h^{8.88}$
10	105 47	74 13	$g^{1.45}$	55	99 21	80 39	$h^{4.98}$
15	105 30	74 30	$g^{1.78}$	60	98 10	81 50	$h^{3.40}$
20	105 6	74 54	$g^{2.24}$	65	96 55	83 5	$h^{2.46}$
25	104 35	75 25	$g^{2.93}$	70	95 36	84 24	$h^{2.06}$
30	103 58	76 2	$g^{4.10}$	75	94 15	85 45	$h^{1.68}$
35	103 14	76 46	$g^{6.59}$	80	92 51	87 9	$h^{1.40}$
40	102 24	77 36	$g^{16.05}$	85	91 26	88 34	$h^{1.18}$
43° 32′ 30″	101 45 3	78 14 57	m	90	90 0	90 0	h^1

AMPHIBOLE.

L'amphibole cristallise dans le même système que le pyroxène : comme lui elle est monoclinique ; les calculs seront donc identiques aux précédents, les angles seuls seront changés.

Les clivages, dans les diverses variétés d'amphibole, sont les suivants :

Trémolite. Clivage suivant m, très-facile et très-net, traces suivant h^1 et g^1.

Pitkärantite. Clivage facile parallèlement à h^1.

Arfwedsonite. Clivage facile et d'un vif éclat, suivant m (le prisme primitif est de 123° 55′ au lieu de 124° 11′, valeur pour l'amphibole proprement dite), clivage imparfait, suivant g^1.

Hornblende. Clivage très-facile et d'un éclat vitreux parallèlement à m; indistinct, suivant g^1.

Zone pg^1. — Les formules employées pour le calcul du tableau suivant sont :

$$\operatorname{tg} \varphi' = \cos 61^\circ 16' 10'' \operatorname{tg} 103^\circ 12'$$

$$\operatorname{cotg} b' = \frac{\operatorname{cotg} 61^\circ 16' 10'' \sin(\rho + \varphi')}{\sin \varphi'},$$

$$\operatorname{tg} \varphi'' = \cos 61^\circ 16' 10'' \operatorname{tg} 76^\circ 48',$$

$$\operatorname{cotg} b'' = \frac{\operatorname{cotg} 61^\circ 16' 10'' \sin(\rho + \varphi'')}{\sin \varphi''},$$

$$b' + b'' = \eta, \qquad \gamma = 180 - \eta.$$

AMPMIBOLE. — Zone pg^1.

ρ	η	γ		ρ	η	γ	
0°	122° 32′ 20″	57° 27′ 40″	p	50°	142° 29′	37° 31′	$e^{0.92} = e^1$
5	122 45	57 15	$e^{12.59}$	55	146 29	33 31	$e^{0.77} = e^{\frac{3}{4}}$
10	123 21	57 39	$e^{6.25}$	60	150 44	29 16	$e^{0.64} = e^{\frac{2}{3}}$
15	124 22	55 38	$e^{4.11}$	65	155 1	24 59	$e^{0.51} = e^{\frac{1}{2}}$
20	125 48	54 12	$e^{3.08}$	70	159 58	20 2	$e^{0.40} = e^{\frac{2}{5}}$
25	127 37	52 23	$e^{2.36}$	75	164 50	15 10	$e^{0.29} = e^{\frac{1}{4}}$
30	129 51	50 9	$e^{1.91}$	80	169 49	10 11	$e^{0.19} = e^{\frac{1}{5}}$
35	132 28	47 32	$e^{1.57}$	85	174 53	5 7	$e^{0.10} = e^{\frac{1}{10}}$
40	135 27	44 23	$e^{1.31}$	90	180 0	0 0	g^1
45	138 48	41 12	$e^{1.10}$				

Zone ph^1. — Comme pour le pyroxène, il y a lieu de considérer les troncatures sur les angles A et celles sur les angles O.

Les formules dont nous allons faire usage sont les suivantes pour les troncatures sur l'angle A :

$$\operatorname{tg}\varphi' = \cos 28^\circ 43' 50'' \operatorname{tg} 76^\circ 48',$$

$$\varphi' = 75^\circ 1' 30'',$$

$$\operatorname{cotg} b' = \frac{\operatorname{cotg} 28^\circ 43' 50'' \sin(\rho + \varphi')}{\sin \varphi'} =$$

$$= \frac{\operatorname{cotg} 28^\circ 43' 50'' \sin(\rho + 75^\circ 1' 30'')}{\sin 75^\circ 1' 30''},$$

$$\gamma = 2b', \qquad \eta = 180 - \gamma.$$

Indice de A $$a = \frac{\sin(104^\circ 58' - \rho)}{\sin 28^\circ 43' 50'' \sin \rho}.$$

Pour les troncatures sur l'angle O;

$$\operatorname{tg}\varphi'' = \cos 28^\circ 43' 50'' \operatorname{tg} 103^\circ 12',$$

$$\operatorname{cotg} b'' = \frac{\operatorname{cotg} 28^\circ 43' 50'' \sin(\rho + \varphi'')}{\sin \varphi''},$$

$$\gamma = 2b'', \qquad \eta = 180 - \gamma.$$

Indice de O $$\frac{OE}{OO'} = \frac{\sin(76^\circ 58' - \rho)}{\sin 28^\circ 43' 50'' \sin \rho}.$$

Troncatures sur les angles A et O du prisme primitif. — Zone ph^1.

ρ	γ	η		ρ	γ	η	
0°	57°27′40″	122°22′30″	p	0°	57°27′40″	132°32′20″	p
5	56 32	123 28	$a^{23.51}$	5	58 48	121 12	$o^{22.70}$
10	56 0	124 0	$a^{11.98}$	10	60 36	119 24	$o^{11.02}$
15	55 48	124 12	$a^{8.04}$	15	62 52	117 8	$o^{7.09}$
20	56 0	124 0	$a^{7.58}$	20	65 44	114 16	$o^{5.10}$
25	56 32	123 28	$a^{4.85}$	25	69 18	110 42	$o^{3.88}$
30	57 28	122 32	$a^{4.02}$	30	73 38	106 22	$o^{3.04}$
35	58 48	121 12	$a^{3.41}$	35	78 56	101 4	$o^{2.42}$
40	60 36	119 24	$a^{2.98}$	40	85 24	94 36	$o^{1.95}$
45	62 54	117 6	$a^{2.55}$	45	93 14	86 46	$o^{1.56}$
50	65 46	114 14	$a^{2.22}$	50	102 46	77 14	$o^{1.23}$
55	69 20	110 40	$a^{1.94}$	55	114 14	65 46	$o^{0.95}=o^{1}$
60	73 40	106 20	$a^{1.70}$	60	127 50	52 10	$o^{0.70}=o^{\frac{7}{10}}$
65	79 0	101 0	$a^{1.47}$	65	143 36	36 24	$o^{0.47}=o^{\frac{1}{2}}$
70	85 28	94 32	$a^{1.27}$	70	161 12	18 48	$o^{0.27}=o^{\frac{1}{4}}$
75	93 20	86 40	$a^{1.07}=a^{1}$	75	179 54	0 6	$o^{0.07}=o^{\frac{1}{20}}$
80	102 52	77 8	$a^{0.89}=a^{\frac{9}{10}}$	75°2′	180 0	0 0	h^1
85	114 20	65 40	$a^{0.71}=a^{\frac{7}{10}}$				
90	127 58	52 2	$a^{0.54}=a^{\frac{1}{2}}$				
95	143 46	36 14	$a^{0.36}=a^{\frac{1}{3}}$				
100	161 24	18 36	$a^{0.18}=a^{\frac{1}{5}}$				
104°58′	180 0	0 0	h^1				

Zone h^1g^1. — Les formules employées dans les calculs du tableau sont les suivantes :

$$\operatorname{tg} A' = \frac{\operatorname{tg} 104°\,58'}{\sin \rho'} = \frac{\operatorname{tg} 75°\,2'}{\sin \rho'},$$

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{\operatorname{tg}(\pi - \rho')}{\sin 104°\,58'} = \frac{\operatorname{tg}(\pi - \rho')}{\sin 74°\,2'},$$

$$\text{indice} = \frac{\sin(28°\,43'\,50'' + \sigma)}{\sin(28°\,43'\,50'' - \sigma)}.$$

Angles du parallélogramme de section (ρ est compté à partir de KO = 0). — Zone h^1g^1.

ρ	δ	$180-\delta$		ρ	δ	$180-\delta$	
0°	104°58′	75° 2′	g^1	50°	99°45′	80°15′	$g^{4.[illegible]}$
5	104 53	75 5	$g^{1.10}$	55	98 43	81 17	$g^{7.08}$
10	104 45	75 15	$g^{1.20}$	60	97 37	82 23	$g^{21.97}$
15	104 29	75 31	$g^{1.33}$	62 5 40	97 7 53	82 52 7	m
20	104 6	75 54	$g^{1.48}$	65	96 27	83 33	$h^{16.31}$
25	103 37	76 23	$g^{1.65}$	70	95 13	84 47	$h^{5.[illegible]}$
30	103 2	76 58	$g^{1.57}$	75	93 57	86 3	$h^{3.07}$
35	102 21	77 39	$g^{2.17}$	80	92 39	87 21	$h^{2.01}$
40	101 34	78 26	$g^{2.59}$	85	91 20	88 40	$h^{1.49}$
45	100 42	79 18	$g^{3.33}$	90	90 0	90 0	h^1

ORTHOSE.

L'orthose cristallise dans le système monoclinique et sous la forme d'un prisme rhomboïdal oblique de 118° 48′. Elle possède un clivage facile et parfait suivant p, un second clivage moins facile et quelquefois interrompu suivant g^1, et enfin un clivage très-difficile suivant les faces m. Nous ne nous occuperons que des deux premiers, les seuls qui soient d'un intérêt pratique.

Zone h^1g^1. — Nous chercherons, comme dans les cas précédents, les angles faits par les traces du clivage parallèle à g^1 avec les traces du clivage parallèle à p. Nous emploierons toujours les mêmes formules modifiées numériquement de la façon suivante :

$$\operatorname{tg} A' = \frac{\operatorname{tg} 63° 53'}{\sin \rho'},$$

$$\operatorname{tg} B' = \frac{\operatorname{tg} (\pi - \rho')}{\sin 63° 53'}$$

$$\sigma = \pi - B',$$

$$\text{indice} = \frac{\sin (33° 22' 15'' + \sigma)}{\sin (33° 22' 15'' - \sigma)}.$$

Angles du parallélogramme de section (ρ est compté à partir de KO = o). — Zone h^1g^1.

ρ	δ	180 — δ		ρ	δ	180 — δ	
0°	116° 7′	63°53′	g^1	50°	107°29′	72°31′	$g^{5.77}$
5	116 2	63 58	$g^{1.11}$	55	105 42	74 18	$g^{11.87}$
10	115 46	64 14	$g^{1.23}$	59 24	104° 0′ 46″	75 59 14	m
15	115 20	64 40	$g^{1.38}$	60	103 46	76 14	$h^{12.36}$
20	114 44	65 16	$g^{1.55}$	65	101 42	78 18	$h^{8.46}$
25	113 57	66 3	$g^{1.76}$	70	99 31	80 29	$h^{4.20}$
30	113 0	67 0	$g^{2.04}$	75	97 14	82 46	$h^{2.66}$
35	111 53	68 7	$g^{2.41}$	80	94 52	85 8	$h^{1.85}$
40	110 35	69 25	$g^{2.97}$	85	92 27	87 33	$h^{1.30}$
45	109 7	70 53	$g^{3.89}$	90	90 0	90 0	h^1

LABRADOR.

Le labrador appartient au système triclinique et cristallise sous la forme d'un prisme doublement oblique de 121° 37′; il offre un clivage facile suivant p, un second clivage moins facile suivant g^1, enfin des traces de clivage suivant m. Comme pour l'orthose, nous nous bornerons à calculer les angles plans des parallélogrammes représentant les sections du prisme du labrador par des plans assujettis à passer tous par l'axe vertical; si l'on fait varier l'angle de rotation vers la droite, la section se confondant d'abord avec g^1 passera par la position m et finira par coïncider avec h^1, tandis qu'en faisant varier ρ vers la gauche, cette section partant de la même position g^1, passera par la position t et coïncidera ensuite avec h^1. Dans ce mouvement d'abord vers la droite, puis vers la gauche, la section occupera toutes les positions possibles aux facettes appartenant à la zone h^1g^1, la seule qui présente un véritable intérêt pratique. Le tableau des valeurs angulaires calculées donnera donc les angles des parallélogrammes de section de cette zone, angles qui, en réalité,

indiquent l'inclinaison pour chaque section des traces du clivage parallèle à p sur les traces du clivage parallèle à g^1.

Calculs. — Triangle rectiligne KOI (*fig.* 30) :

Données : $KO = b = 529.938$ (Des Cl.),
$KI = c = 856.074$ (Des Cl.),
$OI = a = 1.000$ (Des Cl.),

on trouve
$$\text{tg}\,\frac{KOI}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}},$$
$$KOI = 58^\circ\,52'\,3'',98;$$
$$\text{tg}\,\frac{OKI}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}},$$
$$OKI = 90^\circ\,51'\,53'',84.$$

Triangle sphérique ABC :

Données : $c = 58^\circ\,52'\,3'',98$,
$A = 180^\circ - pt = 66^\circ\,26'$,
$b = 180 - \text{angle plan } t = 78^\circ\,12'\,5''$,

on trouve $\text{cotg}\,\varphi = \text{tg}\,b \cos A = \text{tg}\,78^\circ\,12'\,5'' \cos 66^\circ\,26'$,
$$\varphi = 27^\circ\,35'\,6'',09.$$
$$\cos a = \frac{\cos b \sin(c+\varphi)}{\sin\varphi} =$$
$$= \frac{\cos 78^\circ\,12'\,5'' \sin(58^\circ\,52'\,3'',98 + 27^\circ\,35'\,6'',09)}{\sin 27^\circ\,35'\,6'',09},$$
$$a = 63^\circ\,51'\,1'',17;$$
$$\text{cotg}\,B = -\frac{\text{cotg}\,A \cos(c+\varphi)}{\cos\varphi} =$$
$$= -\frac{\text{cotg}\,66^\circ\,26' \cos(58^\circ\,52'\,3'',98 + 27^\circ\,35'\,6'',09)}{\cos 27^\circ\,35'\,6'',09},$$
$$B = 91^\circ\,44'\,38'',71.$$

Triangle sphérique A'B'C' :

$$\text{Données : } a' = 116^\circ\, 8'\, 58'',83,$$
$$B' = \rho_d,$$
$$c' = 91^\circ\, 44'\, 38'',71,$$
$$\operatorname{tg}\varphi \cos a' \operatorname{tg} C' = \cos 116^\circ\, 8'\, 58'',83 \operatorname{tg} 91^\circ\, 44'\, 38'',71,$$
$$\varphi = 86^\circ\, 2'\, 51'',64,$$
$$\operatorname{cotg} c' = \frac{\operatorname{cotg} a' \sin(\rho_d + \varphi)}{\sin\varphi} =$$
$$= \frac{\operatorname{cotg} 116^\circ\, 8'\, 58'',83 \sin(\rho_d + 86^\circ\, 2'\, 51'',64)}{\sin 86^\circ\, 2'\, 51'',64}.$$

On calculera la rotation à effectuer vers la droite pour que le plan mobile soit parallèle à la face *m*, en opérant de la façon suivante :

Triangle sphérique A'B'C' :

$$\text{Données : } a' = 116^\circ\, 8'\, 58'',83,$$
$$C' = 91^\circ\, 44'\, 38'',71,$$
$$b' = 57^\circ\, 37'\, 1'',02,$$
$$\text{on trouve } \operatorname{cotg}\varphi = \operatorname{tg} b' \cos C' = \operatorname{tg} 57^\circ\, 37'\, 1'',02 \cos 91^\circ\, 44'\, 38'',71,$$
$$\varphi = 92^\circ\, 44'\, 5'',$$
$$\operatorname{cotg} B = -\frac{\operatorname{cotg} C' \cos(a' + \varphi)}{\cos\varphi} =$$
$$= -\frac{\operatorname{cotg} 91^\circ\, 44'\, 38'',71 \cos(116^\circ\, 8'\, 58'',83 + 92^\circ\, 44'\, 5'')}{\cos 92^\circ\, 44'\, 5''},$$
$$B = 60^\circ\, 48'\, 12'',47 \text{ valeur cherchée.}$$

On calculera ainsi la rotation à effectuer pour que le plan mobile vienne se confondre avec KI et devienne par conséquent parallèle à h^1.

Triangle sphérique A'B'C' :

$$\text{Données : } a' = 116^\circ\, 8'\, 58'',83,$$
$$C' = 91^\circ\, 44'\, 38'',71,$$
$$b' = 90^\circ\, 51'\, 53'',84,$$
$$\cot \varphi = \operatorname{tg} b' \cos C' = \operatorname{tg} 90^\circ\, 51'\, 53'',84 \cos 91^\circ\, 44'\, 38'',71,$$
$$\varphi = 63^\circ\, 36'\, 41'',37,$$
$$\cot B = -\frac{\cot C' \cos (a' + \varphi)}{\cos \varphi} =$$
$$= -\frac{\cot 91^\circ\, 44'\, 38'',71 \cos (116^\circ\, 8'\, 58'',83 + 63^\circ\, 36'\, 41'',37)}{\cos 63^\circ\, 36'\, 41'',37},$$
$$B = 93^\circ\, 55'\, 8'',93.$$

En opérant la rotation vers la gauche, le nouveau triangle sphérique qu'on aura à résoudre sera A'B'C' situé à gauche du plan KO et adjacent au triangle qu'on avait à calculer dans la rotation à droite :

$$\text{Données : } a' = 116^\circ\, 8'\, 58'',83,$$
$$B' = \rho_g,$$
$$C' = 88^\circ\, 15'\, 21'',29,$$
$$\text{on trouve } \quad \varphi = 93^\circ\, 57'\, 8'',36,$$
$$\cot c = \frac{\cot 116^\circ\, 8'\, 58'',83 \sin (\rho_g + 93^\circ\, 57'\, 8'',36)}{\sin 93^\circ\, 57'\, 8'',36}.$$

On calculera la rotation à effectuer pour amener le plan mobile à être parallèle à t.

Triangle sphérique A'B'C' :

$$\text{Données : } a' = 116^\circ\, 8'\, 58'',83,$$
$$C' = 88^\circ\, 15'\, 21'',29,$$
$$b' = 58^\circ\, 52'\, 3'',98,$$
$$\text{on obtient } \quad \varphi = 87^\circ\, 6'\, 55'',28,$$
$$B = 60^\circ\, 55'\, 56'',31.$$

Enfin pour obtenir le plan h^1, la rotation ρ_g devra être supplémentaire de ρ_d pour le même plan, c'est-à-dire égale à

$$180 - 93^\circ\, 55'\, 8'',93 = 86^\circ\, 4'\, 51'',07.$$

LABRADOR. — Angles du parallélogramme de section. — Zone h^1g^1.

ρ_d	δ	$180-\delta$		ρ_g	δ	$180-\delta$	
°	° ′ ″	° ′ ″		°	° ′ ″	° ′ ″	
0°	116 8 58,83	63 51 1,17	g^1	0	116 8 58,83	63 51 1,17	g^1
5	116 11 59,62	63 48 0,38		5	115 55 40	64 4 20	
10	116 4 30	63 55 30		10	115 31 50	64 28 10	
15	115 46 50	64 13 10		15	114 57 40	65 2 20	
20	115 18 50	64 41 10		20	114 13 0	65 47 0	
25	114 40 20	65 19 40		25	113 18 0	66 42 0	
30	113 51 10	66 8 50		30	112 12 20	67 47 40	
35	112 51 50	67 8 10	g	35	110 56 30	69 3 30	g
40	111 42 0	68 18 0		40	109 30 30	70 29 30	
45	110 21 50	69 38 0		45	107 54 30	72 5 30	
50	108 51 40	71 8 20		50	106 9 0	73 51 0	
55	107 11 40	72 48 20		55	104 14 30	75 45 30	
60	105 22 20	74 37 40		60	102 11 40	77 48 20	
60 48 12,47	105 3 43,44	74 56 16,56	m	60 55 56,31	101 47 55,43	78 12 4.57	t
65	103 24 0	76 36 0		65	100 1 20	79 58 40	
70	101 18 0	78 42 0		70	97 44 50	82 15 10	
75	99 5 0	80 55 0		75	95 23 10	84 36 50	h
80	96 46 0	83 14 0	h	80	92 58 0	87 2 0	
85	94 22 50	85 37 10		85	90 30 50	89 29 10	
90	91 56 40	88 3 20		86 4 51,07	89 59 0	90 1 0	h^1
93 55 8,93	90 1 0	89 59 0	h^1				

Si l'on calcule dans les autres feldspaths tricliniques (anorthite, oligoclase et albite) l'angle que fait l'arête de zone g^1h^1 avec la brachydiagonale et que l'on en compare la valeur avec celle trouvée pour le labrador, on obtient le tableau suivant :

	δ	$180-\delta$
	° ′ ″	° ′ ″
Labrador.	116 8 58,83	63 51 1,17
Anorthite.	115 55 50	64 4 10
Oligoclase.	116 28 0	63 32 0
Albite..	116 28 30	63 31 30,30

L'extrême analogie de ces diverses valeurs dont la différence maximum atteint à peine un demi-degré et se trouve bien en deçà des limites d'erreur de la mesure des angles au microscope, nous autorise à conclure que le tableau des valeurs calculées pour le labrador peut, sans erreur sensible, être utilisé pour tous les feldspaths tricliniques.

THÉORIE DES MACHINES A FROID

Par M. LEDOUX, ingénieur des mines.

CHAPITRE I.

§ 1. On sait depuis longtemps que l'air s'échauffe ou se refroidit quand on le comprime ou qu'on le dilate.

La théorie mécanique de la chaleur a défini les conditions dans lesquelles s'effectuent cet échauffement ou ce refroidissement et a montré qu'ils sont proportionnels au travail extérieur, résistant ou moteur, accompli par l'air, avec cette restriction pourtant que dans la dilatation la résistance surmontée par le gaz qui se détend soit toujours égale à la force élastique de ce dernier.

Si l'on désigne par t et t' les températures successives de l'unité de poids d'un gaz permanent que l'on comprime ou qui se dilate dans les conditions énoncées ci-dessus, en produisant un travail résistant ou moteur $\mathfrak{T}$, on aura :

$$t - t' = \frac{A}{c}\mathfrak{T};$$

A étant l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur $\frac{1}{424}$, c la chaleur spécifique du gaz à volume constant.

Dans une vapeur saturée, une partie de l'équivalent thermique du travail extérieur accompli se transforme en chaleur interne ou chaleur latente ; l'autre partie seule devient sensible sous forme de chaleur externe.

C'est ce qu'exprime l'équation fondamentale

$$c_1(t - t') + (x\rho - x'\rho') = A\mathfrak{T},$$

ans laquelle c_1 représente la chaleur spécifique du liquide, la proportion de vapeur contenue dans l'unité de poids u mélange de liquide et de vapeur, ρ la chaleur latente iterne de la vapeur, ϖ le travail extérieur accompli.

On voit immédiatement par ces équations que, pour une ıême quantité de chaleur transformée en travail, l'écart es températures sera toujours beaucoup plus grand avec ɜs gaz qu'avec les vapeurs saturées. Les premiers perıettront donc d'atteindre des températures plus basses ue les secondes.

§ 2. Quel que soit le corps que l'on emploie, gaz perıanent ou vapeur, tous les appareils destinés à la producon du froid sont fondés sur la suite des opérations suiantes :

Comprimer le gaz ou la vapeur au moyen d'une force ıotrice extérieure, leur enlever de la chaleur de manière à iminuer leur volume; faire détendre ensuite ce gaz ou ette vapeur comprimés en leur faisant produire du travail t en abaissant leur température. La chaleur qu'il faudra ommuniquer au corps ainsi refroidi pour le ramener à son tat initial constitue le refroidissement ou la chaleur négaıve produits par l'appareil.

Lorsque le refroidissement a lieu sous pression constante, e cycle d'opérations peut se représenter par le diagramme fig. 1, Pl. III), dans lequel les abscisses représentent les olumes et les ordonnées les pressions.

Le corps pris à la pression P_0 et sous le volume V_0 est omprimé jusqu'à la pression P_1 et au volume V_1. On le efroidit sous pression constante de V_1 à V'_1, puis on le aisse détendre de la pression P_1 à la pression P_0, son voume passant de V'_1 à V_2. Enfin on le ramène à l'état inial V_0 en lui cédant de la chaleur sous pression constante. 'aire $V_0V_1V'_1V_2$ représente le travail dépensé, et la lonueur V_0V_2 le refroidissement obtenu.

On voit immédiatement, par l'inspection de la figure, que la machine à froid fonctionne exactement comme une machine motrice renversée.

Si au lieu de refroidir l'air ou la vapeur comprimés, pour les amener du volume V_1 au volume V'_1, on les réchauffait en les amenant du volume V_1 au volume V''_1 plus grand que V_1, on obtiendrait un travail moteur représenté par la surface ombrée verticalement $V_0V'_2V''_1V_1$; la chaleur dépensée pour produire ce travail serait représentée par la longueur $V_1V''_1$.

Il est utile de remarquer que dans une machine à gaz permanent, le passage du volume V_1 aux volumes V'_1 ou V''_1 et le passage du volume V_2 ou V'_2 au volume V_0 seront accompagnés de changements correspondants dans la température. Dans une machine à gaz liquéfiable, ils s'effectueront au contraire à température constante, l'addition ou la soustraction de chaleur se traduisant par une évaporation du liquide ou une condensation de la vapeur.

§ 3. De cette identité entre les machines motrices et les machines à froid il résulte que toutes les équations déduites de la théorie mécanique de la chaleur pour établir le rendement des premières s'appliquent également aux secondes.

Si l'on appelle Q_1 la quantité de chaleur cédée ou enlevée à la masse de gaz ou de vapeur comprimée, Q la quantité de chaleur qu'il faut enlever ou céder à cette masse détendue pour la ramener à son état initial, T_0, T_1 les températures absolues correspondant aux volumes V_0 et V_1, $\mathfrak{E}$ le travail résistant ou moteur développé par la machine, le principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur donne, lorsque le corps qui sert d'intermédiaire est revenu exactement à son état primitif,

$$Q_1 - Q = A\mathfrak{E}.$$

Si le cycle parcouru est un cycle dit de Carnot, c'est-à-dire si les lignes V_1V_0, V'_1V_2 et $V''_1V'_2$ sont des courbes adiabatiques,

on a :

$$\frac{Q}{T_0} = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_1 - Q}{T_1 - T_0}.$$

Dans ce cas, le rendement d'une machine motrice, c'est-à-dire la quantité de travail développée par calorie empruntée à la source chaude, est, quel que soit le corps qui sert d'intermédiaire :

$$\frac{\mathfrak{T}}{Q_1} = \frac{1}{A} \frac{T_1 - T_0}{T_1}.$$

Ce rendement est d'autant plus grand que l'écart des températures extrêmes est plus considérable, et il augmente quand la température T_1 augmente, T_0 restant constant.

Le rendement de la machine à froid est le rapport du nombre de calories négatives disponibles au travail dépensé pour obtenir le refroidissement. Il est donc égal à $\frac{Q}{\mathfrak{T}}$ et l'on a :

$$\frac{Q}{\mathfrak{T}} = \frac{AQ}{Q_1 - Q} = A \frac{T_0}{T_1 - T_0}.$$

Ce résultat est indépendant de la nature du corps employé.

A l'inverse des machines motrices, les machines à froid ont donc un rendement d'autant plus grand que l'écart entre les températures initiale et finale est plus faible et que la température finale est plus élevée.

Dans une machine refroidissante à vapeur, T_0 est la température absolue finale minimum que l'on obtiendra dans l'appareil. Dans une machine à gaz, cette tempéra-

ture finale T_2 est différente de la température initale T_0 et l'on a :

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{T_0}{T_2};$$

On peut donc écrire le rendement

$$\frac{Q}{\mathfrak{G}} = A \frac{T_2}{T_0 - T_2}.$$

On voit que, dans l'une et l'autre machine, le rendement diminue à mesure que l'on obtient une température finale plus basse.

Théoriquement, il n'y a donc aucun avantage à employer les gaz plutôt que les vapeurs pour produire du froid *quand la compression se fait sans addition ni soustraction de chaleur.*

Le choix du corps intermédiaire sera déterminé par des considérations pratiques résultant de sa nature physique, telles que le plus ou moins de facilité qu'offre son emploi, les pressions extrêmes que celui-ci comporte pour donner un effet utile déterminé, etc.

L'air offre ce double avantage qu'on peut se le procurer partout et que l'on peut faire varier à volonté la pression supérieure de marche, indépendamment de la température du réfrigérant. Mais il a l'inconvénient grave d'être encombrant, c'est-à-dire que pour produire un effet utile déterminé, on devra faire passer des volumes considérables par les appareils et que ceux-ci devront par conséquent avoir de très-grandes dimensions.

Pour un même effet utile obtenu, les liquides permettront au contraire de donner des dimensions beaucoup plus faibles aux appareils ; mais, en revanche, il faut se les procurer au prix d'une certaine dépense.

De plus, la pression supérieure de marche est déterminée à l'avance par la température du réfrigérant et,

suivant la nature du liquide volatil, cette pression est souvent très-élevée.

§ 4. Les résultats que nous avons énoncés plus haut sont obtenus dans l'hypothèse où la compression et la détente se font suivant les lignes adiabatiques V_0V_1 et $V_1'V_2$, c'est-à-dire où les changements de volume et de pression s'effectuent suivant un cycle de Carnot.

Cette hypothèse est réalisée lorsque le refroidissement se fait hors du cylindre compresseur et après que le corps qui sert d'intermédiaire a été porté à la pression P_1.

Si l'on effectue la compression suivant un cycle différent du cycle de Carnot, le rendement de la machine motrice sera plus petit; mais le rendement de la machine à froid sera ou plus grand ou plus petit, suivant la manière dont les opérations successives se seront effectuées.

Supposons, par exemple, qu'au lieu de refroidir le corps intermédiaire en dehors du cylindre compresseur, on le refroidisse dans ce cylindre même pendant la compression, de manière à maintenir sa température constante. Cette hypothèse revient à remplacer dans le diagramme (*fig.* 1, Pl. III) la courbe adiabatique V_0V_1 par la courbe isothermique V_0V_1'. Le travail résistant de la machine est représenté alors par le triangle curviligne $V_0V_1'V_2$, plus petit que le rectangle curviligne $V_0V_1V_1'V_2$. La quantité de chaleur négative produite représentée par la ligne V_0V_2 reste la même. Le rendement de la machine refroidissante sera donc augmenté, puisque le travail résistant ou moteur est plus petit que dans le cas précédent, pour une même quantité de chaleur négative produite.

On ne peut réaliser le refroidissement pendant la compression avec les vapeurs, puisque la compression se fait à température constante et que cette température est nécessairement inférieure à celle du réfrigérant.

Mais on peut le réaliser, incomplétement il est vrai, pour

les gaz, puisque leur température pendant la compression est supérieure à celle du réfrigérant.

§ 5. Le rendement se calcule alors de la manière suivante :

Nous supposons que la compression se fasse à température constante ; la pression et le volume sont donc liés par la loi de Mariotte.

$$P_1V_1 = P_0V_0,$$

le travail résistant de la compression sera

$$\mathfrak{E}_r = P_0V_0\, l\frac{V_0}{V_1} = RT_0\, l\frac{V_0}{V_1},$$

et l'on aura, comme dans le cas précédent :

$$A\mathfrak{E}_r = Q_1.$$

R est une constante égale pour l'air à 29,272, et nous supposons que l'on opère sur l'unité de poids.

Le gaz se dilatant de la température T_0 à la température T_2 sans addition ni soustraction de chaleur, nous aurons pour le travail de la dilatation, y compris le travail à pleine pression pendant l'introduction :

$$A\mathfrak{E}_m = kc(T_0 - T_2) = Q.$$

Le rendement est encore $A\dfrac{Q}{Q_1 - Q}$, et l'on a :

$$\frac{Q}{\mathfrak{E}_r - \mathfrak{E}_m} = A\frac{Q}{Q_1 - Q} = \frac{kc(T_0 - T_2)}{RT_0\, l\dfrac{P_1}{P_0} - \dfrac{kc}{A}(T_0 - T_2)}.$$

On a d'ailleurs : $\dfrac{c}{A} = \dfrac{R}{k - 1}$;

k est le rapport des chaleurs spécifiques à pression con-

stante et à volume constant. Ce rapport est égal à 1,41 et est le même pour tous les gaz permanents.

Il vient donc :

$$A\frac{Q}{Q_1-Q}=A\frac{T_0-T_2}{\left(\frac{k-1}{k}\right)T_0\,l\frac{P_1}{P_0}-(T_0-T_2)}.$$

Si la compression avait eu lieu suivant une courbe adiabatique, on aurait eu pour le rendement, en appelant T_1 la température absolue finale de la compression :

$$A\frac{Q}{Q_1-Q}=A\frac{T_0-T_2}{T_1-T_0-(T_0-T_2)}$$

et

$$\frac{T_1}{T_0}=\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Il est facile de vérifier que T_1-T_0 ou $T_0\left[\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right]$ est plus grand que $\frac{k-1}{k}T_0\,l\frac{P_1}{P_0}$ et que, par conséquent, le rendement dans le premier cas examiné est plus petit que dans le second.

L'emploi de l'air présente donc, au point de vue du rendement théorique possible, un certain avantage sur l'emploi des liquides volatils, puisqu'il permet de réaliser, sinon complétement, au moins dans une certaine mesure, le refroidissement pendant la compression.

Ces préliminaires posés, nous allons examiner successivement les différentes machines à froid imaginées dans ces dernières années : la machine à air de M. Giffard, la machine à acide sulfureux de M. Pictet et la machine à ammoniaque de M. Carré.

CHAPITRE II.

MACHINE A AIR DE M. GIFFARD.

---

§ 7. Cette machine se compose d'un cylindre à simple effet A (*fig.* 2, Pl. III) dont le piston est muni de deux soupapes s'ouvrant de dehors en dedans ; les parois de ce cylindre sont entourées d'une seconde enveloppe dans laquelle circule un courant d'eau froide ;

D'un second cylindre B, à piston plein, également à simple effet, et d'un diamètre un peu plus petit que le précédent ; sur le fond du cylindre se trouvent deux ouvertures fermées par deux soupapes qui s'ouvrent l'une de dehors en dedans, l'autre de dedans en dehors, et qui sont mues par des leviers actionnés par des cames placées sur l'arbre moteur.

Les tiges des deux pistons sont reliées à des bielles dont les manivelles sont toutes deux calées sur l'arbre auquel est transmise la force motrice.

Un condenseur R, construit comme un condenseur de surface et dans lequel circule le courant d'eau froide venant de l'enveloppe du cylindre A, et un réservoir en tôle R′, relié au condenseur par un tuyau, sont en communication, le premier avec le fond du cylindre compresseur A, le second avec le fond du cylindre détendeur B.

§ 8. L'air pris dans l'atmosphère à la pression et à la température ambiantes est comprimé dans le cylindre A jusqu'à ce que la pression atteigne celle du réservoir ; il est ensuite refoulé dans le condenseur R et dans le réservoir R′ ; dans ce trajet, il perd la plus grande partie de la chaleur sensible résultant de la compression et sa tempé-

rature est ramenée à un point voisin de la température ambiante.

Pendant ce temps, la soupape *s* du cylindre B s'ouvre, et un poids d'air comprimé, précisément égal à celui qui a été expulsé du cylindre A, passe du réservoir dans le cylindre en produisant un travail moteur. Puis la soupape *s* se ferme, l'air se détend dans le cylindre B en produisant encore du travail moteur qui vient en déduction du travail de la compression, et sa température s'abaisse. Quand le piston B arrive en haut de sa course, la soupape *s'* s'ouvre, l'air refroidi est refoulé par le piston dans sa course descendante et s'échappe par le tuyau T.

Le refroidissement subi par l'air pendant la compression au contact des parois refroidies du cylindre est très peu sensible. Cette machine fonctionne donc dans les conditions énoncées au § 2, et nous savons d'avance que son rendement ne peut dépasser la quantité $A\frac{T_0}{T_1-T_0}$ ou $A\frac{T_2}{T_0-T_2}$.

On peut faire varier à volonté, en changeant le réglage des cames de distribution, la durée de la levée des soupapes *s* et *s'*. Si l'on diminue la durée de l'admission dans le cylindre B, la pression augmentera dans le réservoir, puisqu'il faut toujours que le poids d'air refoulé dans le réservoir par le cylindre A soit égal à celui qui en sort pour se rendre dans le cylindre B. La température de sortie de l'air diminuera donc. Si au contraire on augmente la durée de l'admission, la pression du réservoir diminuera, et la température de sortie de l'air augmentera.

L'appareil présente donc cette particularité importante que l'on peut à volonté faire varier dans des limites étendues l'effet utile qu'il produit.

Comme l'air doit toujours sortir du cylindre B à la pression atmosphérique, on voit qu'il existe une pression mi-

nimum au-dessous de laquelle on ne devra pas descendre, et qui dépend des dimensions respectives des deux cylindres.

Nous allons calculer le refroidissement produit par cette machine et le travail correspondant, en négligeant d'abord l'influence des espaces nuisibles et de la vapeur d'eau mélangée à l'air atmosphérique.

§ 9. Soient :

P_0, t_0, T_0 la pression, la température comptée à partir de 0° et la température absolue (comptée à partir de —273°) de l'air atmosphérique ;

V_0 le volume décrit par le piston dans le cylindre A ;

V_1 le volume de l'air comprimé au moment où sa pression atteint la pression P_1 du réservoir ;

V_1 est le volume décrit par le piston pendant la période de refoulement ; m, le poids d'air qui occupe successivement les volumes V_0 et V_1 ;

P_1, t_1 et T_1 la pression et la température de l'air comprimé sortant du cylindre A ;

V'_1, t'_1 et T'_1 le volume et la température de l'air après son passage dans le condenseur ;

V_2 le volume total décrit par le piston du cylindre B ;

P_2, t_2 et T_2 la pression et la température de l'air à la fin de la course de ce piston.

Pendant la compression, le refroidissement de l'air dans le cylindre A se faisant par simple contact avec les parois, est peu considérable. Nous la négligerons et nous supposerons de même que, pendant la détente, l'air ne reçoit pas de chaleur des parois du cylindre B.

§ 10. 1re *période. Compression.* — La compression de l'air se faisant sans addition ni soustraction de chaleur, sa pression et sa température sont liées à chaque instant par la relation connue :

$$P_0 V_0^k = P_1 V_1^k, \tag{1}$$

e laquelle k est le rapport des chaleurs spécifiques de · à pression constante et à volume constant.

$$k = \frac{0,23751}{0,16844} = 1,410.$$

a loi de Gay-Lussac donne en outre :

$$P_0 V_0 = R m T_0 \quad (2)$$
$$P_1 V_1 = R m T_1. \quad (3)$$

es équations (1), (2) et (3) on tire :

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (4)$$
$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{V_0}{V_1}\right)^{k-1}. \quad (5)$$

e travail résistant $\mathfrak{G}_r$ de la compression et du refoule-it est :

$$\mathfrak{G}_r = \frac{k}{k-1}(P_1V_1 - P_0V_0). \quad (6)$$

d'ailleurs : $$\frac{k}{k-1} = \frac{kc}{AR}.$$

ant la chaleur spécifique de l'air à volume constant. 'équation (6) peut donc s'écrire :

$$\mathfrak{G}_r = \frac{mkc}{A}(T_1 - T_0). \quad (7)$$

° *période. Refroidissement.* — L'air est refroidi dans le denseur sous pression constante. Son volume passe de V'_1, sa température de t_1 à t'_1. On a :

$$V'_1 = V_1 \frac{T'_1}{T_1} \quad (8)$$

a quantité de chaleur cédée à l'eau du condenseur est :

$$Q_1 = mkc(T_1 - T'_1). \quad (9)$$

On voit que si $T'_1 = T_0$, on a : $Q_1 = A\,\mathfrak{E}_r$.

3e période. Détente. — Le volume V'_1 d'air entre dans le cylindre B en produisant un travail moteur égal à $P_1V'_1$. Il se détend de V'_1 à V_2, sans recevoir ni perdre de la chaleur. On a donc :

$$P_1V'^k_1 = P_2V^k_2, \tag{10}$$
$$P_1V'_1 = RmT'_1, \tag{11}$$
$$P_2V_2 = RmT_2 \tag{12}$$

d'où

$$T_2 = T'_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}. \tag{13}$$

Le travail moteur accompli par l'air est :

$$\mathfrak{E}_m = \frac{k}{k-1}(P_1V'_1 - P_2V_2) \tag{14}$$

ou

$$\mathfrak{E}_m = \frac{mkc}{A}(T'_1 - T_2). \tag{15}$$

Le travail résistant de la machine, qu'il faut effectuer au moyen d'une force extérieure, est donc :

$$\mathfrak{E}_r - \mathfrak{E}_m = \frac{mkc}{A}[(T_1 - T'_1) - (T_0 - T_2)]. \tag{16}$$

Pour que la machine fonctionne convenablement, il faut évidemment que la pression finale P_2 soit égale à la pression atmosphérique

Les équations (10), (12) et (13) donnent alors

$$\frac{V_2}{V'_1} = \frac{V_0}{V_1}$$

ou

$$\frac{V_2}{V_0} = \frac{T'_1}{T_1} \tag{17}$$

et

$$\frac{T_2}{T'_1} = \frac{T_0}{T_1}. \tag{18}$$

L'équation (17) donne le rapport qui doit exister entre

les volumes des deux cylindres pour que l'air sorte à la pression atmosphérique, quand on se donne la pression de marche P_1.

La chaleur négative disponible produite par l'appareil est la quantité de chaleur nécessaire pour ramener l'air sous pression constante de la température t_2 à la température t_0.

$$Q = mkc\,(T_0 - T_2)$$

ou

$$Q = mkc\,T_0\left(1 - \frac{T'_1}{T_1}\right) \qquad (19)$$

§ 11. Puisque le même poids d'air se trouve, à la fin de l'opération, ramené à la température et à la pression qu'il possédait au commencement, l'air parcourt un cycle parfait et l'on doit avoir, en vertu du principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur :

$$Q_1 = A\,(\mathcal{E}_r - \mathcal{E}_m) + Q,$$

équation qui est en effet vérifiée.

Le rendement théorique de l'appareil u est :

$$u = \frac{Q}{\mathcal{E}_r - \mathcal{E}_m} = A \,.\, \frac{T_0 - T_2}{(T_1 - T'_1) - (T_0 - T_2)},$$

$$u = A \,.\, \frac{1}{\dfrac{T_1 - T'_1}{T_0 - T_2} - 1}$$

et comme, en vertu de l'équation (18)

$$\frac{T_1 - T'_1}{T_0 - T_2} = \frac{T_1}{T_0} = \frac{T'_1}{T_2}$$

il vient finalement :

$$u = A \,.\, \frac{T_0}{T_1 - T_0} = A \,.\, \frac{T_2}{T'_1 - T_2}, \qquad (20)$$

résultat que nous avons déjà trouvé au § 3, en supposant $T'_1 = T_0$. Si $T'_1 > T_0$, le rendement sera diminué.

Le rendement de cette machine sera d'autant plus grand que T_1 se rapprochera davantage de T_0, c'est-à-dire qu'on marchera à une pression plus basse dans le réservoir. Mais à mesure que l'on diminue la pression de marche, la quantité de chaleur négative produite par l'appareil va en diminuant et elle devient nulle quand $T'_1 = T_1$.

Le travail moteur nécessaire, $\mathcal{E}_r - \mathcal{E}_m$, que nous venons de calculer, doit être augmenté des résistances passives.

Si l'on considère que la machine à froid se compose en réalité de deux machines accouplées sur le même arbre et effectuant chacune du travail, on est conduit à penser que le travail des résistances passives est proportionnel, non pas au travail final $\mathcal{E}_r - \mathcal{E}_m$, mais plutôt à la somme des travaux développés dans chaque cylindre, $\mathcal{E}_r + \mathcal{E}_m$. Vu la simplicité des organes, le petit nombre de pièces frottantes, l'absence de stuffing box, on peut admettre que le travail des résistances passives ne dépasse pas 8 p. 100 du travail total $\mathcal{E}_r + \mathcal{E}_m$.

Le travail résistant réel de la machine est donc : $1{,}08\,\mathcal{E}_r - 0{,}92\,\mathcal{E}_m$.

Le tableau suivant donne le refroidissement obtenu et le travail dépensé par mètre cube d'air sec passé dans la machine pour des pressions dans le réservoir variant depuis 1 1/2 jusqu'à 4 1/2 atmosphères, en admettant que la température de l'air extérieur soit de 15° et que la température de l'air à la sortie du condenseur soit de 18°, ce qui suppose l'eau à 13° environ. V_0 étant égal à 1, T_0 à 288, on a $m = 1^k{,}226$.

P_1 (atmosphères).	TEMPÉRATURE de l'air après la compression t_1.	TEMPÉRATURE de sortie de l'air t_2.	ABAISSEMENT de température obtenu $t_0 - t_2$.	CALORIES NÉGATIVES obtenues $mkc(t_0 - t_2)$.	TRAVAIL THÉORIQUE dépensé $\mathfrak{T}_r - \mathfrak{T}_m$ (kilogrammètres).	TRAVAIL EFFECTIF dépensé $1,08\,\mathfrak{T}_r - 0,92\,\mathfrak{T}_m$ (kilogrammètres).	NOMBRE DE CALORIES NÉGATIVES développées par kilogrammètre théorique.	par cheval théorique et par heure.	par kilogrammètre, réellement dépensé.	par cheval effectif et par h[illegible]
	degrés.	degrés.	degrés.	cal.			cal.	cal.	cal.	
1 1/2	51,04	— 14,36	29,36	8,548	454,26	1.070,5	0,01882	5.081, 4	0,007985	2.156
2	79,31	— 35,12	50,12	14,591	1.381,26	2.481,6	0,01056	2.851, 2	0,00588	1.587
2 1/2	102,93	— 49.55	64,55	18,792	2.515,64	3.991,1	0,00747	2.016, 9	0,00471	1.281
3	123,39	— 62,58	77,58	22,586	3.556,3	5.412,3	0,00635	1.714, 8	0,00417	1.136
3 1/2	141,57	— 70.84	85,84	24,991	4.657.3	6.724,2	0,00537	1.448, 8	0,00372	1.003
4	157,98	— 78,54	93,54	27,232	5.732,5	8.097,0	0,00475	1.282, 6	0,00336	907
4 1/2	173,00	— 85,09	100,09	29,375	6.778,0	9.297,0	0,00433	1.170, 2	0,00316	853

§ 12. L'examen des chiffres de ce tableau montre l'influence énorme que les résistances passives exercent sur le rendement des machines à air. C'est une des conséquences de l'encombrement inhérent à l'emploi de ce corps comme agent intermédiaire d'une machine thermique.

Cette influence va d'ailleurs en diminuant à mesure que le travail théorique dépensé $\mathfrak{T}_r - \mathfrak{T}_m$ augmente, ce qui s'explique aisément.

On remarquera aussi que l'effet utile produit est loin d'augmenter proportionnellement à l'accroissement de la pression de marche. A mesure que celle-ci devient plus élevée, l'accroissement de l'effet utile diminue pour un même accroissement de la pression. Il n'y a donc aucun intérêt à employer des pressions élevées. On est d'ailleurs limité par la haute température qui se développe alors dans le cylindre compresseur et qui gêne le fonctionnement en désorganisant les garnitures. La pression de 4 1/2 atmosphères paraît à peu près la limite.

Nous avons dit que la machine étant donnée, on peut faire varier à volonté la pression P_1, en modifiant la durée de l'ouverture de la soupape d'admission du cylindre B. Quand on diminue cette durée, la pression P_1 et par suite le refroidissement produit augmentent; quand on l'aug-

mente, au contraire, P_1 diminue. Il faut seulement que l'on puisse faire varier en conséquence l'ouverture de la soupape d'émission, pour qu'elle s'ouvre au moment où le piston aura parcouru le volume $V_0 \frac{T'_1}{T_1}$, correspondant à la pression atmosphérique à l'intérieur du cylindre de détente.

Une machine dont les dimensions et la vitesse sont telles qu'elle aspire 1.000 mètres cubes par heure, produira donc à volonté de 8.548 à 29.375 calories négatives et au delà par heure, pourvu que la force motrice dont on dispose puisse varier elle-même depuis 4 jusqu'à 34 chevaux et au delà.

En réalité les rendements pratiques sont moins grands que ne l'indiquent les chiffres du tableau ci-dessus, parce que nous n'avons pas tenu compte de la vapeur d'eau qui est mélangée à l'air atmosphérique, ni des espaces nuisibles.

Nous allons examiner successivement l'influence de ces deux causes de perte.

§ 13. *Influence de l'humidité de l'air.* — Cette influence est loin d'être négligeable. La vapeur entraînée avec l'air se condense dans le cylindre détendeur et se solidifie au contact des parois froides : elle cède aux parois et, par suite, à l'air sa chaleur latente de vaporisation et de liquéfaction, de sorte que la température finale de ce dernier est plus élevée que s'il avait été sec.

De plus, la neige ainsi produite s'accumule près de l'orifice du tuyau de sortie de l'air froid, et l'on ne peut guère pratiquement utiliser la chaleur négative qu'elle renferme. Pour ces deux raisons, mais surtout pour la dernière, l'humidité de l'air est une cause notable de perte.

Nous allons calculer le volume et la température de l'air à la fin de la détente, en supposant connu l'état hygromé-

trique de l'air, d'où l'on déduit facilement par les tables la pression p_0 de la vapeur d'eau mélangée et son poids μ_1.

Dans le cylindre compresseur, la vapeur d'eau n'étant pas saturée et ayant une très-faible pression se comportera à peu près comme un gaz; son volume et sa température sont liés par les relations : $pv^k = \text{Const.}$, dans laquelle $k = 1.41$ comme pour les gaz, et $pv = R'mT$; $R' = \frac{R}{0{,}622} = 47.061$.

La pression totale du mélange d'air et de vapeur étant toujours représentée par P, la pression de la vapeur d'eau étant p, celle de l'air sera $P - p$, et l'on aura, en conservant les mêmes notations que ci-dessus :

$$P_1 V_1^k = P_0 V_0^k, \tag{21}$$
$$p_1 V_1^k = p_0 V_0^k, \tag{22}$$
$$(P_0 - p_0) V_0 = RmT_0, \tag{23}$$
$$p_0 V_0 = R'\mu_1 T_0, \tag{24}$$
$$(P_1 - p_1) V_1 = RmT_1, \tag{25}$$
$$p_1 V_1 = R'\mu_1 T_1. \tag{26}$$

Le travail résistant de la compression $\mathcal{E}_r$ est :

$$\mathcal{E}_r = \frac{k}{k-1}(P_1 V_1 - P_0 V_0)$$

ou

$$\mathcal{E}_r = \frac{A}{k}(mc + \mu_1 c')(T_1 - T_0) \tag{27}$$

c' est la chaleur spécifique sous volume constant de la vapeur d'eau surchauffée

$$c' = 0{,}3407.$$

Après le refroidissement le volume devient V'_1.

$$V'_1 = V_1 \frac{T'_1}{T_1}. \tag{28}$$

On a d'ailleurs $\quad p_1 V'_1 = R'\mu_1 T'_1.$

Les équations (21) et (22) donneront V_1 et p_1 quand on se donnera la pression du réservoir P_1.

On verra, par l'examen d'une table des tensions de la vapeur d'eau saturée, si cette pression p_1 est plus petite ou plus grande que celle qui correspond à la température T'_1. Si elle est plus petite, l'air ne sera pas encore saturé de vapeur à la sortie du condenseur, et la chaleur absorbée par ce dernier sera :

$$Q_1 = k(mc + \mu_1 c')(T_1 - T'_1). \quad (29)$$

Si la pression p_1 est plus grande que la pression p'_1 correspondant à la température T'_1 pour la vapeur saturée, il y aura condensation dans le condenseur d'une certaine quantité de vapeur $\mu_1(1 - x'_1)$, et la pression de la vapeur mélangée à l'air entrant dans le cylindre B sera p'_1, celle de l'air sera $P_1 - p'_1$.

On a d'ailleurs : $$x'_1 = \frac{p'_1}{p_1} = \frac{p'_1}{p_0} \cdot \frac{P_0}{P_1}.$$

On voit que la quantité de vapeur non condensée dans le réfrigérant et passant dans le cylindre de détente, ira en diminuant à mesure que la pression de marche augmentera. L'influence de l'humidité de l'air sera donc d'autant plus faible que la pression de marche sera plus élevée.

Le poids $m + \mu_1$ d'air et de vapeur, s'il n'y a pas condensation dans le réfrigérant, ou $m + \mu_1 x'_1$, s'il y a eu condensation, est envoyé dans le cylindre B, où il rencontre les parois refroidies pendant la course précédente. Nous pouvons négliger l'action de ces parois sur l'air, mais non sur la vapeur et l'eau mélangées; celles-ci se transformeront immédiatement en neige, en dégageant une certaine quantité de chaleur qu'elles céderont aux parois, et qui pendant la détente sera restituée à l'air.

Supposons d'abord qu'il n'y ait pas eu condensation de vapeur dans le réfrigérant. On envoie dans le cylindre un poids μ_1 de vapeur saturée ou presque saturée à la température T'_1. Nous pouvons admettre, vu la très-basse température des parois, que toute la vapeur se condense et se solidifie; elle dégage une quantité de chaleur C qui est approximativemeut égale à $\mu_1(r'_1 + 79)$.

r'_1 étant la chaleur latente de vaporisation de l'eau correspondant à la température t'_1;

79 est la chaleur latente de solidification de l'eau.

Cette chaleur C est restituée ensuite progressivement à l'air pendant la détente.

La pression de l'air devient P_1 et le volume V''_1 introduit dans le cylindre est :

$$V''_1 = \frac{RmT'_1}{P_1}.$$

L'équation différentielle du travail est :

$$\frac{c}{A} mdT + \frac{c_1}{A} \mu_1 dT - \frac{dC}{A} = - PdV = - RmT \frac{dV}{V};$$

c_1 étant la chaleur spécifique de la glace; $c_1 = 0,5$.

ou $$\left(\frac{c}{AR} m + \frac{c_1}{AR} \mu_1\right) \frac{dT}{T} - \frac{dC}{ART} = - m \frac{dV}{V}.$$

Nous ne connaissons pas la loi qui lie C à T_1, c'est-à-dire comment se fait la communication à l'air de la chaleur provenant de la condensation et de la solidification de la vapeur d'eau. Nous sommes forcés de faire ici une hypothèse qui n'est pas rigoureusement exacte, mais qui doit donner des résultats assez approchés. Nous supposerons que cette transmission a lieu proportionnellement à la chute de la température et que l'on a par conséquent $dC = - \mu_1 \gamma dT$, où

$\gamma = \frac{r'_1 + 79}{T'_1 - T_2}$. Il vient : $\frac{1}{AR}(mc + \mu_1 c_1 + \mu_1 \gamma)\frac{dT}{T} = -m\frac{dV}{V}$,
ou en intégrant :

$$\frac{c}{AR}\left(1 + \frac{\mu_1 c_1 + \mu_1 \gamma}{mc}\right) l \frac{T'_1}{T_2} = l \frac{V_2}{V''_1}$$

ou

$$\frac{1}{k-1}\left(1 + \frac{\mu_1 c_1 + \mu_1 \gamma}{mc}\right) l \frac{T'_1}{T_2} = l \frac{V_2}{V''_1}. \qquad (29)$$

On a d'ailleurs :

$$P_0 V_2 = RmT_2,$$
$$P_1 V''_1 = RmT'_1,$$

d'où

$$\frac{T'_1}{T_2} = \frac{P_1 V''_1}{P_0 V_2}.$$

L'équation (29) peut donc s'écrire :

$$\frac{1}{k-1}\left(k + \frac{\mu_1 c_1 + \mu_1 \gamma}{mc}\right) l \frac{T'_1}{T_2} = l \frac{P_1}{P_0}. \qquad (30)$$

Sous cette forme, elle donnera T_2, que l'on calculera par approximations successives. Ces calculs étant assez pénibles, on peut remplacer cette équation par une autre dans laquelle on substitue à $l\frac{T'_1}{T_2}$ une valeur approchée. Il suffit pour cela de poser $\frac{T'_1}{T_2} = \frac{1 + \frac{T'_1 - T_2}{T'_1 + T_2}}{1 - \frac{T'_1 - T_2}{T'_1 + T_2}}$ et de remplacer $l\frac{T'_1}{T_2}$ par son développement en série, dans lequel on négligera le deuxième terme qui est du troisième degré. On a alors :

$$\left[k + \frac{\mu_1 c_1}{mc} + \frac{\mu_1 (r'_1 + 79)}{mc(T'_1 - T_2)}\right] \frac{T'_1 - T_2}{T'_1 + T_2} = \frac{(k-1)}{2} l \frac{P_1}{P_0},$$

d'où

$$T_2 = \frac{\left[mkc + \mu_1 c_1 - \frac{(k-1)mc}{2} l \frac{P_1}{P_0}\right] T'_1 + \mu_1 (r'_1 + 79)}{mkc + \mu_1 c_1 + \frac{(k-1)mc}{2} l \frac{P_1}{P_0}}.$$

Supposons maintenant qu'il y ait eu condensation dans le réfrigérant. On connaîtra par les tables la pression p'_1 de la vapeur saturée correspondant à la température T'_1, et l'on en déduira le poids $\mu_1(1-x'_1)$ de vapeur condensée dans le réfrigérant.

On aura alors $$C = \mu_1 x'_1 (r'_1 + 79)$$

et $$\gamma = x'_1 \frac{r'_1 + 79}{T'_1 - T_2}.$$

Les équations (29) et (30) s'appliquent encore dans ce cas, comme dans le précédent.

La quantité de chaleur négative disponible est :

$$Q = mkc(T_0 - T_2), \tag{31}$$

puisque nous supposons non utilisée la chaleur négative de la neige provenant de l'humidité de l'air.

Enfin le travail produit par la détente est :

$$\mathfrak{C}_m = P_2 V'_1 + \frac{mc}{A}\left(1 + \frac{\mu_1 c_1 + \mu_1 \gamma}{mc}\right)(T_1 - T_2) - P_0 V_2 \tag{32}$$

ou $$\mathfrak{C}_m = \frac{mkc + \mu_1(c_1 + \gamma)}{A}(T_1 - T_2). \tag{33}$$

S'il y a condensation dans le réfrigérant, on devra remplacer dans les équations (32) et (33) μ_1 par $\mu_1 x'_1$.

§ 14. Le tableau suivant donne le refroidissement et le rendement obtenus par mètre cube d'air refoulé dans l'appareil, en supposant que l'état hygrométrique soit de $\frac{1}{2}$, et la température de 15°.

Le poids d'air refoulé est alors de $1^k,2157$ au lieu de $1^k,226$, poids du mètre cube d'air sec à 15°.

On a de plus $p_0 = 85^k,8$, $\mu_1 = 0^k,00626$.

PRESSION dans le réservoir P (atmosphères).	TEMPÉRATURE de l'air dans le cylindre compresseur t_1.	TEMPÉRATURE de sortie de l'air t_2.	ABAISSEMENT de température obtenu $t_0 - t_2$.	NOMBRE de calories négatives obtenues $mkc\,(t_0 - t_2)$.	TRAVAIL THÉORIQUE développé $\mathfrak{T}_r - \mathfrak{T}_m$ (kilogrammètres).	TRAVAIL EFFECTIF dépensé $1{,}08\,\mathfrak{T}_r - 0{,}92\,\mathfrak{T}_m$ (kilogrammètres).	NOMBRE DE CALORIES négatives obtenues				POIDS DE VAPEUR entraînée dans le cylindre détendeur $\mu_1 s'_{12}$
							par kilogrammètre théorique.	par cheval théorique et par heure.	par kilogrammètre effectif.	par cheval effectif et par heure.	
	degrés.	degrés.	degrés.	cal.			cal.	cal.	cal.	cal.	
1 1/2	51,04	— 0,43	15,43	4,455	291	981	0,01531	4 134	0,00454	1.226	0,00626
2	79,31	—21,70	36,70	10,600	1.257	2.429	0,00843	2.276	0,00436	1.177	0,00626
2 1/2	102.93	—37,25	52,25	15,090	2.286	3.843	0,00660	1.782	0,00393	1,061	0,00615
3	123,39	—50,80	65,80	18,997	3.486	5.354	0,00545	1.472	0,00355	959	0,00504
3 1/2	141,57	—61,53	76,53	22,095	4.592	6.730	0,00481	1.299	0,00328	886	0,00439
4	157,98	—70,58	85,58	24,710	5.674	8.050	0,00435	1.176	0,00307	829	0,00384
4 1/2	173,00	—78,26	93,26	26,928	6.714	9.304	0,00409	1.104	0,00290	783	0,00342

En comparant les chiffres de ce tableau avec les nombres correspondants du tableau du § 11, on voit que l'influence de l'humidité de l'air sur le rendement est d'autant plus grande que la pression de marche est plus faible. Nous avions fait la même remarque pour les résistances passives. L'avantage que la théorie donne, au point de vue du rendement, aux faibles pressions, est donc diminué dans une large proportion par ces causes de perte.

Il est possible d'annuler à peu près complétement l'influence de l'humidité de l'air. Il suffirait pour cela de reprendre à la sortie du réfrigérant, et après qu'il a enlevé de la chaleur aux corps à refroidir, l'air qui a déjà servi et qui s'est dépouillé de son humidité. Il faudrait faire de la machine refroidissante à air une machine fermée, dans laquelle la même quantité d'air servirait indéfiniment. On utiliserait le refroidissement produit en faisant passer l'air refroidi dans un réfrigérant construit comme le condenseur et qui serait entouré d'un liquide incongelable, tel qu'une dissolution de chlorure de calcium ou de chlorure de magnésium. On utiliserait au moins aussi bien que par le contact direct, une partie des calories négatives produites, et celles qui ne seraient pas utilisées ne seraient pas perdues puisqu'on aspirerait dans le cylindre A,

non plus de l'air à 15°, mais de l'air à — 8 ou à — 10°.

Nous pensons que c'est seulement dans cette voie qu'on pourra perfectionner suffisamment la machine refroidissante à air, pour qu'elle donne des rendements comparables à ceux des machines à gaz liquéfiable.

§ 15. *Influence des espaces nuisibles.* — Afin de ne pas compliquer outre mesure les calculs, nous supposerons qu'on opère sur de l'air sec.

Conservant les notations précédentes, et appelant v le volume de l'espace nuisible du cylindre compresseur, v' celui du cylindre détendeur, μ le poids d'air renfermé dans l'espace nuisible v à la fin de la compression, on a pour la période de compression :

$$P_0(V_0 + v)^k = P_1(V_1 + v)^k \qquad (34)$$

$$P_0(V_0 + v) = R(m + \mu)T_0 \qquad (35)$$

$$P_1V_1 = RmT_1 \qquad (36)$$

$$Pv_1 = R\mu T_1 \qquad (37)$$

m étant encore le poids d'air sec expulsé du cylindre compresseur pendant le refoulement.

Les équations (34), (35), (36) et (37) donnent par élimination de μ

$$T_1 = T_0 \left(\frac{V_0 + v}{V_1 + v}\right)^{k-1} \qquad (38)$$

et

$$T_1 = T_0 \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \qquad (39)$$

Le travail résistant de la compression est, en tenant compte du travail restitué au commencement de la course ascendante du piston par l'air renfermé dans l'espace nuisible et se détendant de P_1 à P_0 :

$$\mathfrak{T}_r = \frac{k}{k-1}(P_1V_1 - P_0V_0) + \frac{1}{k-1} P_0 v \frac{V_0 - V_1}{V_1 + v}; \qquad (40)$$

pour la période de refroidissement :

$$V'_1 = V_1 \frac{T'_1}{T_1} \tag{41}$$

et

$$P_1V'_1 = RmT'_1. \tag{42}$$

La chaleur Q_1 absorbée par l'eau du condenseur est :

$$Q_1 = mkc(T_1 - T'_1). \tag{43}$$

Période de détente. — L'air venant du réservoir R', sous la pression P_1 et la température P'_1, doit d'abord, au moment où la soupape d'admission s'ouvre, porter l'air qui se trouve dans l'espace nuisible, dont le volume est v', de la pression P_0 à la pression P_1. Il s'agit de déterminer la température T''_1 du mélange et le poids m' d'air qui passe du réservoir dans l'espace nuisible.

Les dimensions du réservoir étant très-grandes par rapport à celles de l'espace nuisible, nous pouvons supposer que la pression et la température ne changent pas dans le réservoir pendant que l'espace nuisible se remplit d'air à la pression P_1.

Appelons μ' le poids d'air renfermé dans l'espace nuisible, au moment où la soupape d'admission s'ouvre.

On a :

$$P_0v' = R\mu'T_2; \tag{44}$$

T_2 étant la température finale de l'air détendu.

Le travail intérieur de cet air est :

$$\frac{c}{A}\mu'T_2.$$

Le poids m' d'air qui entre dans l'espace nuisible et qui est à la température T'_1 et sous la pression P_1 a pour travail intérieur $\frac{c}{A} m'T'_1$.

Après l'introduction dans l'espace nuisible, le travail

térieur de la quantité totale d'air $m' + \mu'$ qui y est con-
nu est :

$$\frac{c}{A}(m' + \mu')T''_1,$$

l'on a de plus :

$$P_1 v' = R(m' + \mu')T''_1. \qquad (45)$$

Comme nous supposons qu'il n'y a ni perte ni gain de
aleur par l'extérieur, la différence entre le travail inté-
ur du mélange après l'introduction dans le cylindre de
masse m' et la somme des travaux intérieurs des deux
sses d'air m' et μ' avant leur mélange, est égal au tra-
l extérieur accompli.

Ce travail extérieur est évidemment $P_1 v'_1$, en appelant
le volume occupé par la masse m' avant son introduction
ns le cylindre, sous la pression P_1 et à la température T'_1,

$$P_1 v'_1 = Rm'T'_1.$$

I vient donc :

$$-\frac{c}{A}\mu'T_2 - \frac{c}{A}m'T'_1 + \frac{c}{A}(m' + \mu')T''_1 = Rm'T'_1,$$

qui donne, en remplaçant $\frac{c}{A}$ par $\frac{R}{k-1}$ et en combinant
c les équations (44) et (45) :

$$m' = \frac{(P_1 - P_0)v'}{kRT'_1} \qquad (46)$$

$$\left.\begin{aligned} T''_1 &= \frac{km'T'_1 + \mu'T_2}{m' + \mu'} \\ T''_1 &= \frac{kP_1T'_1T_2}{P_1T_2 + P_0(kT'_1 - T_2)} \end{aligned}\right\} \qquad (47)$$

Quand la soupape d'admission se ferme, le piston a dé-
t un certain volume V''_1 qui a été rempli par le poids m''
ir à la pression P_1 et à la température T'_1. On a :

$$m' + m'' = m.$$

Il n'y a pas de travail extérieur produit sur la masse d'air totale, puisque le travail négatif du piston P_1V_1'' est exactement égal au travail positif exercé par l'air du réservoir. Les poids d'air présents au commencement et à la fin de l'introduction et les températures initiales et finales sont donc liées par la relation

$$\frac{c}{A}(m'+\mu')T_1''+\frac{c}{A}m''T_1=\frac{c}{A}(m'+m''+\mu')T_1''',$$

en appelant T_1''' la température finale de l'air à la fin de l'introduction.

Cette équation donne :

$$\left.\begin{aligned} T_1''' &= \frac{(m'+\mu')T_1''+m''T_1'}{m+\mu'} \\ \text{ou}\qquad T_1''' &= \frac{P_1(V_1'+v')-\frac{1}{k}(P_1-P_0)v'}{P_1V_1'T_2+P_0v'T_1'}T_1'T_2 \end{aligned}\right\}\qquad(48)$$

On a d'ailleurs

$$P_1(V_1''+v')=R(m+\mu')T_1'''$$

$$\text{ou}\qquad P_1(V_1''+v')=P_1(V_1'+v')-\frac{1}{k}(P_1-P_0)v';\qquad(49)$$

V_1' est donné par les équations (38) et (41). L'équation (49) donne V_1''.

La soupape d'admission étant fermée, la masse d'air $m+\mu$ qui est à la pression P_1 et la température T_1''' se détend sans addition ni soustraction de chaleur, puisque nous négligeons l'influence des parois. A la fin de la course du piston, le volume de l'air est devenu V_2+v', sa température T_2, sa pression P_2. On a donc :

$$\left.\begin{aligned} P_2(V_2+v')^k &= P_1(V_1''+v')^k \\ \text{ou}\qquad P_2(V_2+v')^k &= P_1\left[(V_1'+v')-\frac{1}{k}\left(1-\frac{P_0}{P_1}\right)v'\right]^k \end{aligned}\right\}\qquad(50)$$

$$\text{et}\qquad P_2(V_2+v')=R(m+\mu')T_2.\qquad(51)$$

Les équations (50) et (51) donnent V_2 et T_2, si l'on nait P_2 ou P_2 et T_2 si l'on connaît V_2, qui est le volume rit par le piston du cylindre B_1.

a $$T_2 = T_1''' \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Quand il n'y a pas d'espace nuisible, on a :

$$T_2 = T_1' \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}.$$

Comme $T_1''' > T_1'$, il en résulte que pour un même poids ir passé dans l'appareil et pour une même pression de rche, la température finale de l'air détendu sera plus vée, et par suite le nombre de calories négatives protes sera plus petit que s'il n'y avait pas d'espace nuisible. Le travait moteur est :

$$= \frac{k}{k-1}(P_1V_1' - P_2V_2) + (P_1 - P_0)V_2 + \frac{1}{k-1}(P_0 - P_2)v'. \quad (52)$$

§ 16. Pour que la machine fonctionne dans de bonnes ditions, il faut évidemment que l'air sorte du cylindre pression atmosphérique, c'est-à-dire que P_2 soit égal à il doit alors exister entre le volume du cylindre compresr $V_0 + v$, la pression du réservoir P_1 et le volume du indre détendeur $V_2 + v'$ une relation déterminée par les ations ci-dessus. Quand il s'agit de fixer les dimensions la machine, on se donne *à priori* le volume $V_0 + v$ et la ssion P_1, et l'on déduit le volume final $V_2 + v'$.

Si nous faisons $P_2 = P_0$, les équations (50) et (51) donnent :

$$P_0(V_2 + v')^k = P_1\left[(V_1' + v') - \frac{1}{k}\frac{P_1 - P_0}{P_1}v'\right]$$

$$P_0V_2 = RmT_2,$$

$$V_2 + v' = (V_0 + v)\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\left(\frac{T_1'}{T_0} - \frac{1}{k}\frac{P_1 - P_0}{P_0}\frac{v'}{V_0 + v}\right). \quad (53)$$

L'équation (53) donne $V_2 + v'$ en fonction de $V_0 + v$ et de P_1.

Le travail moteur de l'air est :

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{S}_m &= \frac{k}{k-1}(P_1V'_1 - P_0V_2) \\ \text{ou} \qquad \mathfrak{S}_m &= \frac{mkc}{A}(T'_1 - T_2). \end{aligned}\right\} \tag{54}$$

La valeur que nous trouvons ainsi pour $\mathfrak{S}_m$ est la même que celle que nous avons trouvée au § 7, dans le cas où il n'y a pas d'espace nuisible. Seulement ici, la température finale T_2 étant plus grande pour un même poids m d'air et pour une même pression P_1 que s'il n'y avait pas d'espace nuisible, le travail moteur $\mathfrak{S}_m$ de l'air est plus petit.

Le travail résistant final de la machine est :

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{S}_r - \mathfrak{S}_m &= \frac{k}{k-1}[P_1(V_1 - V'_1) - P_0(V_0 - V_2)] + \\ &\quad + \frac{k}{k-1}P_0 v \frac{V_0 - V_1}{V_1 + v}, \\ \text{ou} \qquad \mathfrak{S}_r - \mathfrak{S}_m &= \frac{mkc}{A}(T_1 - T'_1 - T_0 + T_2). \end{aligned}\right\} \tag{55}$$

La chaleur négative produite est :

$$Q = mkc\,(T_0 - T_2). \tag{56}$$

$$Q_1 - Q = \mathfrak{S}_r - \mathfrak{S}_m. \tag{57}$$

Le rendement est : $u = \dfrac{T_0 - T_2}{T_1 - T'_1 - T_0 + T_2}$

ou

$$u = \frac{T_0}{\dfrac{T_1 - T'_1}{T_1 - T'''_1}\cdot T_1 - T_0} \tag{58}$$

Comme $T'''_1 > T'_1$, le rendement u sera dans ce cas plus petit que s'il n'y avait pas d'espace nuisible.

§ 17. Le tableau suivant donne les résultats que four-

Pendant la période de détente on a :

$$P_2(V_2+v')^k = P_1(V'_1+v)^k, \qquad (59)$$

$$P_2(V_2+v') = R(m+\mu')T_2, \qquad (60)$$

$$P_1V_1 = R\mu'T'_1, \qquad (61)$$

d'où

$$\frac{T_2}{T'_1} = \left(\frac{V'_1+v}{V_2+v'}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}. \qquad (62)$$

Le travail moteur $\mathfrak{C}_m$ restitué par le piston B est, en tenant compte du travail nécessaire pour comprimer l'air dans l'espace nuisible de la pression P_0 à la pression P_1 :

$$\left.\begin{aligned}\mathfrak{C}_m = \frac{k}{k-1}(P_1V'_1 - P_2V_2) - (P_0-P_2)V_2 + \\ \frac{k}{k-1}P_0v'\frac{V_0-V_1}{V_1+v} + \frac{1}{k-1}(P_0-P_2)v'\end{aligned}\right\} \qquad (63)$$

ou

$$\mathfrak{C}_m = \frac{mkc}{A}(T'_1 - T_2) + (k-1)\frac{mc}{A}T_2\left(1-\frac{P_0}{P_2}\right) - $$

$$- (k-1)\frac{\mu'c}{A}\left(\frac{P_0}{P_2}T_2 - T'_2\right);$$

T'_2 étant la température de l'air du cylindre au moment où commence la compression avant la fin de la course du piston.

On a donc :

$$\left.\begin{aligned}\mathfrak{C}_r - \mathfrak{C}_m = \frac{k}{k-1}[P_1(V_1 - V'_1) - P_0V_0 + P_2V_2] + \\ +(P_0-P_2)V_2 + \frac{k}{k-1}P_0(v-v')\frac{V_0-V_1}{V_1+v} - \frac{1}{k-1}(P_0-P_2)v'.\end{aligned}\right\} \qquad (64)$$

Quand la marche est convenablement réglée, la pression finale $P_2 = P_0$; les équations (63) et (64) deviennent alors :

$$\mathfrak{C}_m = \frac{k}{k-1}(P_1V'_1 - P_0V_2) + \frac{k}{k-1}P_0v'\frac{V_0-V_1}{V_1-v'} \qquad (65)$$

ou

$$\mathfrak{C}_m = \frac{mkc}{A}(T'_1 - T_2)$$

$$\left.\begin{aligned}\mathfrak{T}_r - \mathfrak{T}_m = \frac{k}{k-1}\,[P_1(V_1 - V'_1) - P_0(V_0 - V_2)] + \\ + \frac{k}{k-1}\,.\,P_0(v - v')\,\frac{V_0 - V_1}{V_1 + v}.\end{aligned}\right\} \quad (66)$$

a aussi :

$$\frac{V_0 + v}{V_1 + v} = \frac{V_2 + v'}{V'_1 + v'}. \qquad (67)$$

voit que, dans l'équation (66), le terme de correction ' aux espaces nuisibles disparaît si l'on a $v = v'$; équation devient alors :

$$\mathfrak{T}_r - \mathfrak{T}_m = \frac{k}{k-1}\,[P_1(V_1 - V'_1) - P_0(V_0 - V_2)]. \qquad (68)$$

volume $V_2 + v'$ se détermine au moyen des équa- (39), (41) et (67), quand on se donne la pression P_1 arche normale de l'appareil.

:iproquement, quand on connaît V_0, v, V_2 et v', c'est- : les dimensions de la machine, on en déduit le vo- V'_1, et par suite la pression et la température P_1 et T_1 ir comprimé nécessaires pour qu'à la fin de la course iston B, l'air sorte du cylindre à la pression atmo- ique.

19. Ainsi que nous l'avons dit au § 5, le rendement machine est notablement amélioré si l'on opère le dissement de l'air à l'intérieur du cylindre com- [illegible]

résultat peut être obtenu sinon en totalité, du moins ellement, au moyen d'une injection d'eau à l'intérieur ylindre, telle qu'on la pratique maintenant dans la irt des machines à comprimer l'air.

us allons calculer le travail nécessaire pour la com- ion dans ce cas particulier, en négligeant l'influence spaces nuisibles. Soit toujours m le poids d'air sec

occupant le volume V_0; soit M le poids total de l'eau injectée dans le cylindre et de la vapeur hygrométrique de l'air, Mx le poids de la vapeur à chaque instant.

La dilatation ou la compression du mélange d'air et de vapeur s'effectue de manière à satisfaire à l'équation différentielle

$$mcdt + M(dq + dx\rho) = - APdV. \tag{69}$$

qui exprime que la variation de la chaleur interne du mélange d'air, de vapeur et d'eau est égale à la variation du travail accompli. On a d'ailleurs

$$dq = c_1 dt;$$

c_1 étant la chaleur spécifique de l'eau.

L'équation différentielle peut donc s'écrire :

$$(mc + Mc_1)dt = - Mdx\rho - A(P - p)dV - ApdV;$$

p étant la pression de la vapeur d'eau, P celle du mélange.

Or $$x\rho = xr - Apxu,$$
$$dx\rho = dxr - Apdxu - Axudp,$$
et $$dV = Mdxu.$$

ρ est la chaleur latente interne de la vapeur d'eau,
r la chaleur de vaporisation,
u l'augmentation de volume d'un kilogramme d'eau qui se vaporise.

On sait d'ailleurs que $Axu\dfrac{dp}{dt} = \dfrac{xr}{T}$.

On a donc $$Mdx\rho + ApdV = Mdxr - \frac{xrdt}{T}$$

ou $$\frac{Mdx\rho + ApdV}{T} = Md\frac{xr}{T},$$

d'où l'on tire $$(mc + Mc_1)\frac{dt}{T} + ARm\frac{dV}{V} = - Md\frac{xr}{T},$$

n intégrant entre les limites T_1 et T_0 :

$$(mc+Mc_1)l\frac{T_0}{T_1}+M\frac{x_0r_0}{T_0}-M\frac{x_1r_1}{T_1}+ARml\frac{V_0}{V_1}=0, \quad (70)$$

$$Mx_0=\frac{V_0}{u_0} \quad \text{et} \quad Mx_1=\frac{V_1}{u_1};$$

et $\frac{1}{u_1}$ étant à très-peu près l'inverse de la densité de la eur aux pressions p_0 et p_1.

n a d'ailleurs $V_1=Rm\frac{T_1}{P_1-p_1}$.

'équation (70) donnera M, quand on connaîtra T_1 et T_0.
'un autre côté, l'intégration directe de l'équation (69) ne, en tenant compte du travail de refoulement :

$$=mc(T_1-T_0)+M(q_1-q_0+x_1\rho_1-x_0\rho_0)+A(P_1V_1-P_0V_0)$$
$$A\mathfrak{E}_r=mkc(T_1-T_0)+M(q_1-q_0+x_1r_1-x_0r_0), \quad (71)$$

ation qui donnera le travail résistant $\mathfrak{E}_r$, quand on aura culé M (*).

Dans les compresseurs Colladon à injection d'eau, fourant de l'air à 4 atmosphères, la température T_1 dans le npresseur ne s'élève pas au-dessus de 50° centigrades, empérature de l'air extérieur étant de 15°.

On en déduit :

$$V_1 = 0^{mc},28429,$$
$$M = 0,57212,$$
$$\mathfrak{E}_r = 15.291^{km}.$$

Quand la compression s'effectue sans refroidissement

(*) Il est intéressant de remarquer que les équations (70) et (71), expriment la relation entre les volumes et les températures n mélange d'air et de vapeur qui se comprime ou se dilate, si que le travail produit, s'appliquent à la machine Mekarski. ans cette machine, qui a pour but l'utilisation du travail de r préalablement comprimé, on réchauffe cet air avant son introtion dans le cylindre, en le faisant passer dans une bouillotte plie d'eau, dont la température varie de 100° à 150°. On envoie

extérieur, nous avons trouvé au § 11 que le travail de la compression est de 17.649 kilogrammètres. Il y a donc un gain notable, qui est de 13 p. 100 environ.

Il s'agit maintenant de calculer $\mathfrak{T}_r$ pour une pression quelconque, sans connaître T_1 *à priori*.

Lorsqu'un certain volume d'air se dilate ou se comprime avec ou sans addition de chaleur, on sait que la loi qui lie la pression au volume est toujours représentée par une équation de la forme $PV^\alpha =$ constante. On a donc :

$$\frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{P_0 - p_0}{P_1 - p_1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \qquad (72)$$

et

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{P_1 - p_1}{P_0 - p_0}\right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} \qquad (73)$$

ce qui donne

$$\frac{\alpha - 1}{\alpha} = \frac{\log T_1 - \log T_0}{\log(P_1 - p_1) - \log(P_0 - p_0)}; \qquad (74)$$

T_1 ayant été une fois déterminé par l'expérience, l'équation (74) donne α.

Faisant $P_1 = 4^{atm}$, $T_1 = 323$, $T_0 = 288$, on trouve $\alpha = 1.0912$.

α étant ainsi déterminé, l'équation (73) donnera M_1. Seulement p_1 étant fonction de T_1, on devra calculer T_1 par approximations successives.

L'équation (70) donnera :

$$Mc_1 = 0{,}4343\,\frac{\dfrac{V_0 r_0}{u_0 T_0} - \dfrac{V_1 r_1}{u_1 T_1}}{\log \dfrac{T_1}{T_0}} + 0{,}5888\, m.$$

---

ainsi au cylindre un mélange d'air et de vapeur saturée, réchauffé à une température moyenne de 100°.

Le poids M des équations (70) et (71) est alors égal au poids de vapeur que renferme l'air saturé à la température de sortie du réchauffeur.

r_0, u_0, r_1 et u_1 sont fournis par les tables.

Enfin on aura $\mathfrak{G}_r$ par l'équation (71).

L'air saturé passant ensuite dans le réfrigérant est refroidi de la température T_1 à la température T'_1, et une portion de la vapeur se condense. Le poids de vapeur restant, entraîné dans le cylindre de détente, est :

$$\mu_1 = \frac{V'_1}{u'_1};$$

$\frac{1}{u'_1}$ étant la densité de la vapeur correspondant à la température T'_1.

On calculera ensuite le refroidissement produit par la détente et le travail moteur, comme il a été dit au § 13.

§ 20. Voici les résultats pour 1 mètre cube d'air aspiré à 15°. Cet air est naturellement supposé saturé à 15°, puisque les parois du cylindre compresseur sont couvertes d'eau. Son poids est de $1^k,021$.

	degrés.	degrés.	degrés.	cal.				cal.				
1 ½	24,79	+ 5,79	9,21	2,636	189	4.266	856	0,0139	3.763	0,00308	832	0,01010
2	32.00	— 16,62	33,62	9,623	709	6.687	1.833	0,01357	3.663	0,00525	1.417	0,00739
2 ½	37,68	— 37,27	52,27	14,962	1.368	9.885	2.953	0,01094	2.953	0,00527	1.423	0,00610
3	42,38	— 51,30	66,30	18,979	2.000	11 940	3.750	0,00949	2.562	0,00506	1.366	0,00570
3 ½	46,26	— 62,48	77,48	22,179	2.636	13.723	[illegible]	0,00841	2.270	0,00480	1.296	0,00436
4	50,00	— 71,60	86,60	24,790	3.244	15.291	5.431	0,00764	2.063	0,00456	1 231	0,00382
4 ½	53,13	— 79,40	94,40	27,023	3.809	16.672	6.172	0,00709	1.914	0,00438	1.182	0,00340

L'examen des nombres de ce tableau et leur comparaison avec ceux du tableau du § 14 montrent :

1° Que l'injection d'eau à l'intérieur du cylindre compresseur augmente de 40 à 50 p. 100 le rendement effectif de la machine;

2° Que ce rendement est maximum aux environs de 2^{atm} 1/2;

3° Qu'il diminue, mais lentement, à partir de 2^{atm} 1/2.

4° Que la quantité de neige ou de glace produite n'est pas plus considérable que celle qui provient de l'humidité de l'air atmosphérique.

La pression de marche la plus favorable paraît être dans ce cas, d'à peu près 4 atmosphères, puisque l'on obtient alors un effet utile assez considérable (24 à 25 calories négatives par mètre cube d'air), avec un rendement relativement bon d'environ 1.200 calories négatives par cheval et par heure.

Théoriquement, l'injection d'eau dans le cylindre compresseur présente un sérieux avantage. Mais il est possible que toute l'eau provenant de la condensation de la vapeur dans le condenseur ne reste pas dans le réservoir et qu'une partie soit entraînée mécaniquement dans le cylindre B. Les résultats indiqués ci-dessus pour le rendement seraient alors considérablement modifiés, et l'augmentation de la quantité de glace constituerait en pratique un inconvénient grave. C'est l'expérience seule qui peut décider la question.

Nous avons examiné dans les pages qui précèdent à peu près tous les problèmes théoriques que soulève le fonctionnement de la machine à air. Nous passerons maintenant à l'étude des machines de la seconde classe, dans lesquelles on transforme le travail moteur en calories négatives, en employant comme corps intermédiaires des gaz liquéfiables.

CHAPITRE III.

MACHINES A GAZ LIQUÉFIABLES.

§ 21. Le principe de ces machines est exactement le même que celui des machines à air. On comprime le gaz, on lui enlève de la chaleur, puis on le fait détendre de manière à abaisser sa température. Seulement, dans ce cas, la soustraction de chaleur qui suit la compression a pour effet de liquéfier le gaz, et c'est l'évaporation de ce gaz liquéfié qui produit ensuite l'abaissement de température.

Lorsque le changement de volume d'une vapeur saturée se fait sous pression constante, la température reste constante. L'addition ou la soustraction de chaleur qui produit ce changement de volume se traduit par une augmentation ou une diminution de la quantité du liquide mélangé à la vapeur.

D'un autre côté, quand les vapeurs, même saturées, ne sont plus en contact avec leur liquide et qu'on leur communique de la chaleur, soit en les comprimant au moyen d'une force mécanique, soit par le contact d'une source chaude extérieure, elles se comportent à peu près comme des gaz et se surchauffent.

Il résulte de là que la machine refroidissante à gaz liquéfiable opérera d'une manière différente, suivant que la vapeur qu'on y emploie restera toujours saturée ou bien se surchauffera pendant une partie du cycle parcouru.

§ 22. Supposons d'abord que la vapeur reste toujours saturée, et examinons les conditions à remplir pour réaliser cette hypothèse et le rendement qu'on obtiendra.

Pour conserver des notations se rapprochant de celles que nous avons employées précédemment, nous continuerons à appeler *m* le poids de gaz liquéfiable passé dans l'appareil, P_2 et T_2 la pression et la température absolue du gaz refroidi, P_1 et T'_1 la pression et la température absolue dans le condenseur.

Ici les pressions P_2 et P_1 sont déterminées par les températures T_2 et T'_1; ce sont les pressions de la vapeur saturée à ces températures, et elles sont fournies par les tables de M. Regnault.

La température du condenseur est déterminée d'avance par les conditions locales. Suivant la surface de cet appareil, la température à l'intérieur dépassera de 5° à 10° la température de l'eau dont on dispose; celle-ci variera depuis 11° à 12°, température de l'eau d'un puits profond, jusqu'à 30° ou 35°, température de l'eau superficielle dans les pays chauds. Le liquide volatil choisi comme corps intermédiaire ne devra donc pas posséder, à cette température, une tension dépassant celle que l'on peut pratiquement réaliser dans les appareils.

D'un autre côté, si la tension de la vapeur, à la température minimum que l'on veut obtenir dans l'appareil est trop faible, on sera amené à donner au cylindre compresseur des dimensions exagérées, afin que le poids de vapeur aspiré par coup de piston soit suffisant pour donner un effet utile notable.

Ces deux conditions, auxquelles il faut joindre celles qui proviennent du plus ou moins de facilité qu'on aura à se procurer le liquide volatil, et des dangers que peut présenter son emploi, soit au point de vue de l'inflammabilité, soit au point de vue de la salubrité, soit enfin au point de vue de son action sur les métaux, limitent le choix à un petit nombre de liquides.

On a employé jusqu'ici l'éther sulfurique, l'acide sulfureux, le gaz ammoniac et l'éther méthylique.

Voici, d'après M. Regnault, les tensions des vapeurs de ces quatre substances aux températures comprises entre — 30° et + 40°. M. Regnault les donne exprimées en millimètres de mercure. Nous les avons exprimées en kilogrammes par mètre carré, forme plus commode pour les calculs.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades.	FORCE ÉLASTIQUE DE LA VAPEUR exprimée en kilogrammes par mètre carré.				OBSERVATIONS.
	Éther sulfurique.	Acide sulfureux.	Ammoniaque.	Éther méthylique.	
degrés.					
— 40	»	»	7.187	»	
— 35	»	»	9.302	»	
— 30	»	3.908	11.918	7.837	La force élastique de l'ammoniaque à 0°, calculée suivant la formule indiquée par M. Regnault dans son *Mémoire sur la force élastique des vapeurs*, est 3.197^{mm},53 et non 3.162^{mm},87, comme l'indique par erreur le tableau de la page 601, tome II, qui donne les résultats des calculs de — 40° à + 40°
— 25	»	5 082	15.120	9.736	
— 20	917	6.519	19.003	11.992	
— 15	1.194	8.265	23.669	14.652	
— 10	1.541	10.366	29.225	17.765	
— 5	1.968	12.874	35.797	21.380	
0	2.493	15.840	43.475	25.547	
+ 5	3.129	19.322	52.405	30.318	
+ 10	3,894	23.378	62.707	35.743	
+ 15	4.806	28.074	74.504	41.873	
+ 20	5.891	33.474	87.925	48.755	
+ 25	7.164	39.645	103.073	56.437	
+ 30	8.651	46.659	120.083	64.961	
+ 35	10.377	54.585	139.054	»	
+ 40	12.367	63.496	160.112	»	

On voit immédiatement, à l'inspection des nombres de ce tableau, que l'éther se prête mal à la production des basses températures, parce que sa pression devient alors très-faible.

Aussi la machine à éther a-t-elle été bientôt abandonnée. L'ammoniaque, au contraire, convient parfaitement pour la production de températures très-basses; mais sa force élastique devient très-grande aux températures de 15° à 30° qu'on peut obtenir dans le condenseur. Il se prête donc mal à la transformation de la force mécanique en chaleur, à cause de la difficulté de maintenir les joints, et de l'influence des espaces nuisibles à ces hautes pressions. L'éther méthylique peut donner de basses températures sans atteindre des pressions exagérées à la température du con-

denseur. Enfin l'acide sulfureux convient pour des températures de — 10° à — 15°, et sa pression n'est que de 3 à 4 atmosphères pour la température ordinaire du condenseur. Ces deux dernières substances se prêtent donc bien à l'emploi de la force mécanique pour la production du froid.

§ 23. Appelons :

c la chaleur spécifique du liquide volatil employé;

q la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kilogramme de ce liquide de 0° à T° — 273°;

$q = c\,(T - 273)$;

λ, r, ρ la chaleur totale, la chaleur de vaporisation et la chaleur latente interne de la vapeur considérée à la température T° — 273°;

u l'augmentation de volume que subit 1 kilogramme du liquide se vaporisant à T° — 273°.

On a par définition
$$\lambda = r + q,$$
$$\rho = r - APu.$$

Nous affecterons ces lettres des indices correspondants à ceux qui affectent la lettre T pour désigner les différentes températures absolues.

Pour que la vapeur reste constamment saturée, il faut que la quantité de liquide et de vapeur aspirée dans le cylindre compresseur soit telle, qu'à la fin de la compression tout le liquide soit vaporisé sans qu'il y ait surchauffe. Si nous appelons x'_2 la proportion de vapeur contenue dans le mélange au commencement de l'aspiration, le travail de la compression sera égal à la différence des chaleurs internes du mélange au commencement et à la fin de la compression, c'est-à-dire à $m(q'_1 - q_2 + \rho'_1 - x'_2\rho_2)$,

Le travail du refoulement dans le condenseur sera $P_1V'_1$, en appelant V'_1 le volume occupé par un poids m de vapeur à la

fin de la compression, et le travail de la contre-pression sera $P_2 V_2$, V_2 étant le volume occupé par le poids mx'_2 de vapeur.

On a d'ailleurs,
$$V'_1 = m\left(u'_1 + \frac{0,001}{\delta}\right)$$
et
$$V_2 = mx'_2\left(u_2 + \frac{0,001}{\delta}\right), \qquad (75)$$
δ étant la densité du liquide supposée constante.

On peut négliger le terme $\frac{0,001}{\delta}$, qui est très-petit, et écrire :

$$V'_1 = mu'_1,$$
$$V_2 = mx'_2 u_2,$$

d'où l'on tire :

$$mr'_1 = m\rho'_1 + AP_1V_1$$
et
$$mr_2 = m\rho_2 + AP_2V_2.$$

Le travail total de la compression, y compris celui du refoulement, sera donné par l'équation :

$$A\mathfrak{E}_r = m(q'_1 - q_2 + r'_1 - x'_2 r_2). \qquad (76)$$

La compression ayant lieu suivant une courbe adiabatique, les différentes quantités q'_1, q_2, r'_1, r_2, T'_1 et T_2 seront liées par l'équation dite de Clausius :

$$\int_{T_2}^{T'_1} \frac{cdt}{T} = \frac{x'_2 r_2}{T_2} - \frac{r'_1}{T'_1}$$

ou, plus simplement,

$$\frac{r'_1}{T'_1} + cl\frac{T'_1}{T_2} = \frac{x'_2 r_2}{T_2}. \qquad (77)$$

L'équation (77) donnera la quantité x'_2. Par suite, l'équation (75) fournira, quand on connaîtra m, le volume V_2 que devra décrire le piston pendant l'aspiration, pour que tout le liquide soit vaporisé à la fin de la compression, ou inversement le poids m quand on se donnera V_2.

La vapeur est refoulée dans le condenseur où elle se liquéfie.

La chaleur absorbée par l'eau du condenseur est :

$$Q_1 = mr'_1. \tag{78}$$

Le liquide passe ensuite dans le cylindre de détente, où il se vaporise en produisant du travail moteur jusqu'à ce qu'il ait atteint la pression P_2 et la température T_2 du réfrigérant. A la fin de la détente, le poids de vapeur existant dans le mélange est devenu mx_2.

Le travail moteur, y compris le travail de la contre-pression sera, en négligeant le travail de l'introduction du liquide, $P_1 \frac{0{,}001 . m}{\delta}$, qui est très-petit,

$$A\mathfrak{E}_m = m(q'_1 - q_2 - x_2 r_2), \tag{79}$$

et l'équation de la courbe adiabatique sera

$$\frac{x_2 r_2}{T_2} = cl \frac{T'_1}{T_2}, \tag{80}$$

équation qui détermine x_2.

La quantité de chaleur Q nécessaire pour ramener le mélange du poids $m(1 - x_2)$ de liquide et mx_2 de vapeur à son état primitif de $m(1 - x'_2)$ de liquide et mx'_2 de vapeur est

$$Q = m(x'_2 - x_2)r_2$$

ou, en vertu des équations (76) et (79),

$$Q = \frac{T_2}{T'_1} mr'_1. \tag{81}$$

Le travail dépensé est $\mathfrak{E}_r - \mathfrak{E}_m$, et l'on a :

$$A(\mathfrak{E}_r - \mathfrak{E}_m) = m[r'_1 - (x'_2 - x_2)r_2] = Q_1 - Q. \tag{82}$$

Le rendement théorique de la machine est:

$$\frac{Q}{\mathfrak{E}_r - \mathfrak{E}_m} = \frac{AQ}{Q_1 - Q} = A \cdot \frac{T_2}{T'_1 - T_2}, \qquad (83)$$

résultat déjà trouvé au § 3, et qui est identique à celui auquel nous sommes arrivés pour les gaz non liquéfiables.

§ 24. Prenons des exemples numériques et admettons que les dimensions respectives des deux cylindres compresseur et moteur soient réglées en vue d'obtenir un refroidissement de -15°, la température du condenseur étant de $+18^\circ$, le volume de gaz aspiré dans le cylindre compresseur V_2 étant de 1 mètre cube.

La résolution des équations ci-dessus suppose la connaissance des valeurs numériques des quantités r, q, c et u ou APu. Elles ont été déterminées directement par M. Regnault, pour l'éther sulfurique, mais non pour l'acide sulfureux, l'ammoniaque et l'éther méthylique. En nous servant des expériences exécutées par M. Regnault, sur la compressibilité du gaz, nous avons pu déterminer ces quantités pour l'acide sulfureux et l'ammoniaque et dresser des tables donnant les résultats des calculs de 5 en 5 degrés.

La méthode de calcul et les tables se trouvent dans une note qui fait suite au présent mémoire.

Elles donnent, pour l'acide sulfureux:

$t_2 = -15$ ou $T_2 = 258$	$t'_1 = +18$ ou $T_2 = 291$
$r_2 = 95{,}015$	$r'_1 = 87{,}23$
$AP_2u_2 = 7{,}932$	$AP_1u'_1 = 8{,}568$
$q_2 = -5{,}4615$	$q'_1 = 6{,}554$
$u_2 = 0{,}419$	$u'_1 = 0{,}1165$

Le tableau de la page 160 donne:

$P_2 = 8265$ $\qquad$ $P_1 = 31170.$

En effectuant les calculs indiqués par les équations (77) et (80), on trouve :

$$x'_2 = 93{,}29 \text{ p. } 100,$$
$$x_2 = 11{,}90 \text{ p. } 100.$$

L'équation (75) donne

$$m = 2^k{,}554.$$

les équations (76) et (79)

$$A\mathfrak{T}_r = 27{,}08 \quad \text{d'où} \quad \mathfrak{T}_r = 11.482^{kgm}.$$
$$A\mathfrak{T}_m = 1{,}82 \quad \text{d'où} \quad \mathfrak{T}_m = 772^{kgm}.$$

enfin les équations (78) et (81)

$$Q_1 = 222^c{,}77,$$
$$Q = 197^c{,}56.$$

Ainsi le volume décrit par le piston du cylindre compresseur étant de 1 mètre cube, $2^k{,}554$ d'acide sulfureux travaillant entre $-15°$ et $+18°$ produisent 197,56 calories négatives. Il faut pour cela que l'on introduise dans le cylindre compresseur à chaque aspiration un mélange d'acide sulfureux liquide et d'acide sulfureux gazeux, dont la proportion soit de 93,29 p. 100 de gaz et de 6,71 p. 100 de liquide.

On a, pour l'ammoniaque :

$t_2 = -15°$	$t'_1 = +18°$
$P_2 = 23.669$	$P'_1 = 82.183$
$r_2 = 322{,}53$	$r'_1 = 301{,}70$
$AP_2u_2 = 28{,}604$	$AP_1u'_1 = 31{,}431$
$u_2 = 0{,}512$	$u'_1 = 0{,}1621$
$q_2 = -14{,}68$	$q'_1 = 18{,}696.$

La chaleur spécifique moyenne du liquide à 0°, $c = 1{,}0058$.

u moyen de ces données, on trouve :

$$x'_1 = 92{,}62 \text{ p. } 100$$
$$x_2 = 9{,}68 \text{ p. } 100$$
$$m = 2^k{,}1034$$
$$A\mathfrak{G}_r = 76{,}55 \qquad \mathfrak{G}_r = 32.457^{\text{km}}.$$
$$A\mathfrak{G}_m = 4{,}52 \qquad \mathfrak{G}_m = 1.917^{\text{km}}.$$
$$Q_1 = 634{,}59$$
$$Q = 562{,}56.$$

k,1034 d'ammoniaque fonctionnant entre les mêmes ites de température de + 18 à — 15° et avec les mêmes ensions du cylindre compresseur fourniront donc ,56 calories négatives par heure.

'renons maintenant l'éther.

n sait que la vapeur d'éther, à l'inverse de la vapeur au, se surchauffe pendant la détente et se condense au traire pendant la compression. La machine à éther ra donc fonctionner de telle sorte que l'on n'introduise s le cylindre compresseur que de la vapeur, et non un ange de liquide et de vapeur. A la fin de la compres-, une partie de la vapeur se sera condensée.

n aura donc $x'_1 = 1$, et les équations ci-dessus trouvées ennent :

$$V'_1 = mx'_1\left(u'_1 + \frac{0{,}001}{\delta}\right),$$
$$V'_2 = m\left(u_2 + \frac{0{,}001}{\delta}\right),$$
$$\frac{x'_1 r'_1}{T'_1} = \frac{r_2}{T_2} - c \,.\, l\,\frac{T'_1}{T_2},$$
$$\frac{x_2 r_2}{T_2} = cl\,\frac{T'_1}{T_2},$$
$$Q_1 = mx'_1 r'_1,$$
$$Q = m(1 - x_2) r_2,$$
$$A\mathfrak{G}_r = m(q'_1 - q_2 + x'_1 r'_1 - r_2),$$
$$A\mathfrak{G}_m = m(q'_1 - q_2 - x_2 r_2).$$

Les formules empiriques établies par M. Regnault pour la vapeur d'éther sont :

$$r = 94,00 - 0,0790t - 0,000\,8514t^2,$$
$$APu = 7,46 + 0,02747t - 0,001\,354t^2,$$
$$q = 0,52901t + 0,0002959t^2.$$

On en déduit :

pour	$t = -15$	et	$t = +18$,
	$P_2 = 1.194$ kilog.		$P_1 = 5456$,
	$r_2 = 94.693$,		$r_1 = 92,302$,
	$AP_2u_2 = 7,014$,		$AP_1u_1 = 7,516$,
	$u_2 = 2,491$,		
	$q_2 = -7.868$,		$q_1 = 9,618$,
			$c = 0,5299$,
et l'on a	$\delta = 0,736$.		

Effectuant les calculs indiqués, on trouve :

$$x_2 = 17,35 \text{ p. } 100,$$
$$x'_2 = 100 \text{ p. } 100,$$
$$x'_1 = 95,64 \text{ p. } 100,$$
$$m = 0,401,$$
$$Q_1 = 35^c,40,$$
$$Q = 31^c,38,$$
$$A\mathfrak{G}_r = 4,44 \qquad \mathfrak{G}_r = 1.882^{km}.$$
$$A\mathfrak{G}_m = 0,42, \qquad \mathfrak{G}_m = 178^{km}.$$

Une même machine fonctionnant entre — 15° et + 18° donnera donc, par mètre cube aspiré :

avec l'ammoniaque. . . .	562,56	calories négatives
avec l'acide sulfureux. .	197,56	»
avec l'éther sulfurique. .	31,38	»

Le rendement sera de $0^c,0184$ par kilogrammètre.

§ 25. On remarquera que le travail positif $\mathfrak{G}_m$ est toujours très-petit par rapport au travail négatif $\mathfrak{G}_r$.

On peut donc, sans une grande perte de travail moteur,

simplifier la machine en supprimant le cylindre de détente et le remplaçant par un simple robinet, dont on règle l'ouverture de manière à envoyer dans le réfrigérant une quantité de liquide précisément égale au poids qui doit être aspiré par le cylindre compresseur pour obtenir un refroidissement déterminé.

Le cycle des opérations ne sera plus réversible. On aura encore $\frac{Q}{A\mathfrak{E}_r} = \frac{Q}{Q_1 - Q}$, mais le rapport $\frac{Q}{Q_1 - Q}$ sera plus petit que $\frac{T_2}{T'_1 - T_2}$ et le rendement sera diminué.

Cette manière d'opérer revient en effet à remplacer dans le diagramme (*fig.* 1, Pl. III) la ligne adiabatique V'_1V_2 par les deux lignes droites $V'_1V'''_2$ et $V'''_2V''_2$, V''_2 étant situé à droite du point V_2. La quantité Q, proportionnelle à la longueur V''_2V_0, sera plus petite que la quantité Q du cas précédent, qui était proportionnelle à V'_2V_0, et la quantité $Q_1 - Q$ sera augmentée d'une quantité proportionnelle à l'aire $V'_1V'''_2V_2$.

Les équations (76), (77) et (78) restent sans changement.

Le poids m de liquide sous la pression P_1 et à la température T'_1 passant brusquement dans le réfrigérant, une partie du liquide se vaporise, la température du mélange devient T_2 et la pression P_2. La quantité x_2 de liquide qui se vaporise est donnée par l'équation :

$$m(q_2 - q'_1 + x_2\rho_2) + AP_2V'_2 - A(P_1 - P_2)\frac{0{,}001 \cdot m}{\delta} = 0$$

qui exprime que la variation de la chaleur interne $m(q_2 + x_2\rho_2 - q'_1)$ est égale au travail extérieur accompli

$$-AP_2V'_2 + A(P_1 - P_2)\frac{0{,}001 \cdot m}{\delta};$$

V'_2 étant le volume occupé par le poids mx_2 de vapeur, après le passage du mélange dans le réfrigérant.

On a $$V'_2 = mx_2\left(u_2 + \frac{0{,}001}{\delta}\right).$$

Si l'on néglige la quantité $AP_1 \frac{0,001m}{\delta}$ qui est très-petite, l'équation précédente devient :

$$x_2 r_2 = q'_1 - q_2. \tag{84}$$

La quantité Q est encore fournie par l'équation

$$Q = m(x'_2 - x_2)r_2$$

ou, à cause de l'équation 76, $\quad Q = mr'_1 - A\mathfrak{S}_r = Q_1 - A\mathfrak{S}r,$

d'où le rendement : $\quad \frac{Q}{\mathfrak{S}_r} = A \frac{Q}{Q_1 - Q}. \qquad (85)$

Le rendement sera diminué. Il est facile de vérifier, en effet, que la valeur de x_2 donnée par l'équation (84) est toujours plus grande que celle que fournit l'équation (80). Par suite, la valeur de Q sera plus petite dans le second cas que dans le premier, et le rapport $\frac{Q}{Q_1 - Q}$ sera aussi plus petit.

En appliquant les équations (84) et (85) aux mêmes circonstances que celles qui ont été admises au § 24, on trouve, pour l'acide sulfureux :

$$x_2 = 12,64 \text{ p. } 100,$$
$$Q = 195,71,$$

et le rendement $= 0^c,0170$ par kilogrammètre ;

pour l'ammoniaque :

$$x_2 = 10,35 \text{ p. } 100,$$
$$Q = 558^c,11;$$

rendement, $0^c,0172$;

enfin pour l'éther sulfurique :

$$x_2 = 18,46 \text{ p. } 100,$$
$$Q = 30^c,96;$$

rendement, $0^c,0164$.

§ 26. Pour réaliser soit le cycle de Carnot, soit le cycle on réversible indiqué ci-dessus, il faut, quand on emploie n gaz liquéfiable qui se surchauffe par la compression, troduire dans le cylindre compresseur à chaque aspiraon un mélange de liquide et de vapeur dans des proporons déterminées par la condition que tout le gaz soit à état de vapeur à la fin de la compression. On ne conçoit as de moyen pratique de réaliser cette condition. Aussi e contente-t-on, dans les machines à froid qui emploient s gaz liquéfiables, d'aspirer le gaz non mélangé de liuide dans le cylindre compresseur. Il arrive alors, avec acide sulfureux et l'ammoniaque, que le gaz se surhauffe pendant la compression et que, pendant une partie es opérations, la machine fonctionne comme la machine air.

Il est clair que dans ces conditions on augmente l'écart ntre la température T_1 du gaz arrivant dans le condenseur t la température T_2 du réfrigérant, et par suite l'effet utile e l'appareil.

Celui-ci fonctionnera d'ailleurs à l'inverse d'une machine otrice à vapeur surchauffée.

Si nous nous reportons au diagramme (*fig.* 1, Pl. III), n voit que l'on partira alors d'un volume initial v_0 plus rand que le volume V_0 du cas précédent, on comprimera vapeur du volume v_0 au volume v_1, suivant la courbe diabatique $v_0 v_1$ de la vapeur surchauffée, et l'on refroidira vapeur de la température T_1 à la température T'_1 corresondant à sa liquéfaction pour la pression P_1. On la fera asser ensuite dans le réfrigérant, soit en lui faisant prouire du travail et décrire la courbe adiabatique $V'_1 V_2$, soit n l'introduisant par un robinet et lui faisant décrire les gnes $V'_1 V'''_2$ et $V'''_2 V''_2$.

La quantité de chaleur négative gagnée par la surchauffe st représentée par la longueur $V_0 v_0$ et l'augmentation du avail résistant par l'aire $V_0 V_1 v_1 v_0$.

Traçons, à partir du point v_0, la courbe adiabatique de la vapeur saturée, le point v'_1 sera à gauche de v_1.

Si la vapeur comprimée avait suivi la courbe adiabatique $v_0 v'_1$, le rendement $\frac{Q'}{Q'_1 - Q'}$ aurait été égal au rendement $\frac{Q}{Q_1 - Q}$ du cycle $V_0 V_1 V'_1 V_2$.

Mais la compression se faisant suivant la ligne $v_0 v_1$, on voit que pour une même quantité de chaleur négative Q' disponible, la quantité $Q'_1 - Q'$ sera plus grande d'une quantité proportionnelle à l'aire $v_0 v_1 v'_1$.

Nous pouvons donc dire *à priori* que le rendement théorique de la machine à froid, fonctionnant avec la surchauffe, sera plus petit que celui de la machine marchant sans surchauffe.

La différence est d'ailleurs assez faible, comme on le verra ci-après.

§ 27. Étudions maintenant les conditions de marche de la machine, en supposant que l'on n'introduise que du gaz dans le cylindre pendant l'aspiration, de sorte que le gaz se surchauffe pendant la compression.

Un certain volume V_2 de gaz, sous la pression P_2 et à la température T_2, étant introduit dans le cylindre, il s'agit de trouver quels seront son volume V_1 et sa température T_1, quand il aura atteint la pression P_1 du condenseur.

Si les gaz liquéfiables se comportaient comme des gaz permanents, il suffirait d'appliquer les équations (1) à (6) que nous avons établies au § 10 pour la compression de l'air.

Mais les recherches de M. Regnault sur la compressibilité des gaz ont établi que, dans le voisinage de point de liquéfaction, ces corps sont loin de suivre les de Mariotte et de Gay-Lussac, sur lesquelles sont fon les formules que nous avons employées.

M. Zeuner a exposé dans deux mémoires les résu

ses recherches sur la vapeur d'eau surchauffée (*). Il a trouvé entre la pression P le volume spécifique v, :st-à-dire le volume occupé par l'unité de poids de la peur, et la température absolue T la relation

$$Pv = BT - CP^n, \tag{86}$$

.ns laquelle C et n sont des constantes à déterminer par :xpérience,

$$B = \frac{c_p n}{A}; \tag{87}$$

étant la chaleur spécifique de la vapeur à pression con- ante, laquelle est constante d'après M. Regnault.

En faisant $k = \frac{4}{3}$, $B = 50{,}933$, $C = 192{,}50$, on trouve ie cette formule fournit, pour le volume spécifique de la ıpeur d'eau, des nombres qui coïncident d'une manière :marquable avec ceux que fournit l'expérience.

M. Zeuner ne présente pas d'ailleurs cette relation ımme rigoureusement exacte, mais comme donnant des sultats beaucoup plus approchés que la formule $Pv = RT$, ıplicable aux gaz permanents.

Les gaz liquéfiables n'étant autre chose que des vapeurs ırchauffées, nous nous servirons de l'équation (84), établie ›ur la vapeur d'eau surchauffée, mais en déterminant les ınstantes dans chaque cas particulier, d'après les résul- .ts des expériences de M. Regnault sur la dilatation et la ›mpressibilité des gaz. Si l'on appelle α le coefficient de ılatation du gaz sous la pression atmosphérique, il est .cile de voir que l'équation (86) donne :

$$\alpha = \frac{1}{273 - \frac{C}{B} \cdot 10.334^n}$$

$$10{,}334 v_0 = 273B - C \cdot 10334^n, \tag{88}$$

où

$$10.334 v_0 \alpha = B. \tag{89}$$

(*) *Théorie mécanique de la chaleur*, par G. Zeuner, traduction e Maurice Arnthal et Achille Cazin, pages 444 et suivantes.

équation qui donnera B quand on connaîtra le coefficient de dilatation et le volume spécifique v_0 à 0° et sous la pression atmosphérique.

Si la relation (87) était exacte, elle suffirait, avec les équations (88) et (89) pour déterminer les constantes B, C et n. Mais les nombres que l'on obtient ainsi ne coïncident nullement, au moins pour l'acide sulfureux et l'ammoniaque, avec ceux des expériences de M. Regnault sur la compressibilité des gaz. Nous ne nous servirons donc pas de l'équation (87) et nous déterminerons n par l'un des nombres trouvés par M. Regnault pour le produit Pv. M. Regnault donne la valeur du produit PV à des températures de 1°,7 pour l'acide sulfureux, de 8°,1 pour l'ammoniaque, et pour des pressions variant de 600 à 1.200 et 1.400 millimètres de mercure (*). On peut déduire de ses tableaux le volume V_0 à 0° et sous la pression de 760, et par suite le poids m du gaz qui a servi à l'expérience; et l'on a :

$$PV = mBT - mCP^n, \qquad (90)$$

relation qui, combinée avec l'équation (89), fournira C et n.

Pour l'acide sulfureux :

$$\alpha = 0{,}0039028; \qquad v_0 = 0{,}3442.$$

Pour $\quad P = 16.345^{kg}$ et $T = 274{,}7$,

M. Regnault a trouvé $\dfrac{PV}{m} = 3526{,}16.$

On en déduit :

$$B = 13{,}882,$$
$$C = 3{,}8455,$$
$$n = 0{,}44487.$$

(*) *Relation des expériences pour déterminer les lois et les données physiques nécessaires au calcul des machines à feu.* Tome II, pages 252 et 255.

Introduisant ces constantes dans l'équation (86), on trouve pour Pv des valeurs qui coïncident d'une manière satisfaisante avec les nombres trouvés par M. Regnault.

Ces valeurs sont un peu plus faibles que les nombres du tableau de M. Regnault, pour les pressions comprises entre 16.345^{kg} et 10.334^{kg}, et un peu plus fortes pour les pressions supérieures à 16.345 ou inférieures à 10.334.

Pour l'ammoniaque, nous ne connaissons malheureusement pas le coefficient de dilatation, qui n'a pas été déterminé par M. Regnault. Ce gaz se trouvant à 0° assez voisin de son point de liquéfaction, nous admettrons que son coefficient de dilatation se rapproche de celui de l'acide sulfureux et du cyanogène, et qu'il est égal à 0,00390. Il est clair que les résultats que nous obtiendrons ainsi ne doivent être acceptés qu'à titre d'approximation et à défaut des valeurs exactes déterminées directement par l'expérience.

On a
$$v_0 = 1,2977,$$

et les tableaux de M. Regnault donnent :

$$\frac{PV}{m} = 13596 \quad \text{pour} \quad T = 281,1 \quad \text{et} \quad P = 19515^{km}.$$

On en déduit :

$$B = 52,4943,$$
$$C = 43,7144,$$
$$n = 0,32685.$$

§ 28. Il s'agit maintenant de trouver l'équation de la courbe adiabatique d'une vapeur surchauffée dont la pression, le volume spécifique et la température sont liés par la relation

$$pv = BT - Cp^n.$$

L'équation fondamentale de la théorie mécanique de la chaleur est, en appelant Q la quantité de chaleur fournie

à un corps, U son travail intérieur, et en supposant que la pression extérieure soit toujours égale à la force expansive :

$$dQ = A(dU + pdv),$$

et comme U est une fonction de p et de v, on a :

$$dQ = A\left[\frac{dU}{dp}\,dp + \left(\frac{dU}{dv} + p\right)dv\right].$$

Posant $\dfrac{dU}{dp} = X \quad \dfrac{dU}{dv} + p = Y,$

on a $$dQ = A(Xdp + Ydv) \tag{91}$$

ou $$dQ = AT\left(\frac{X}{T}\,dp + \frac{Y}{T}\,dv\right)$$

et puisque dU est une différentielle exacte,

$$\frac{dX}{dv} = \frac{dY}{dp} - 1.$$

On sait que le facteur $\frac{1}{T}$ est le facteur d'intégrabilité de la fonction $Xdp + Ydv$; l'on en déduit :

$$T = Y\frac{dt}{dp} - X\frac{dt}{dv}. \tag{92}$$

On a d'ailleurs, en vertu de l'équation (86),

$$\frac{dt}{dp} = \frac{v}{B} + \frac{nCp^{n-1}}{B}$$

et $$\frac{dt}{dv} = \frac{p}{B}.$$

Si l'on suppose que la pression soit constante, $dp = 0$ et l'équation (91) donne

$$dQ_p = AYdv.$$

Or, $dQ_p = c_p dt$, en appelant c_p la chaleur spécifique à

on constante, que nous supposerons constante et qui nnue. On a donc :

$$Y = \frac{c_p}{A}\frac{dt}{dv} = \frac{c_p}{A}\frac{p}{B}$$

vertu de l'équation (92),

$$X = -\frac{BT}{p} + \frac{c_p}{AB}(v + nCp^{n-1})$$

in,

$$A\left[\frac{c_p}{AB}(pdv + vdp) - vdp + \left(\frac{nc_p}{AB} - 1\right)Cp^{n-1}dp\right]. \quad (93)$$

ır avoir l'équation de la courbe adiabatique il faut $dQ = 0$. On a alors :

$$\left(\frac{c_p}{AB} - 1\right)dpv + pdv + \left(\frac{nc_p}{AB} - 1\right)Cp^{n-1}dp = 0. \quad (94)$$

roduisant la valeur de T tirée de l'équation (86), il :

$$\frac{c_p}{AB}\frac{dt}{T} = \frac{dp}{p} \text{ et en intégrant } \frac{c_p}{AB}lT = lp + \text{const.}$$

fin

$$\left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{c_p}{AB}} = \frac{p}{p_0}, \quad (95)$$

tion analogue à l'équation (4) que nous avons trouvée l'air.

mplaçant T par cette valeur dans l'équation (86), il finalement pour l'équation de la courbe adiabatique

$$pv = BT_0\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{AB}{c_p}} - Cp^n. \quad (96)$$

$\frac{AB}{c_p}$ était égal à n, comme l'admet M. Zeuner pour la ur d'eau surchauffée, cette équation deviéndrait

$$pv^k = \text{constante},$$

et elle serait semblable à celle qui représente la courbe adiabatique des gaz permanents.

L'équation (94) donne le travail de la compression :

$$pdv = -d\mathcal{T} = \left(1-\frac{c_p}{AB}\right) dpv + \left(1-\frac{nc_p}{AB}\right) Cp^{n-1}dp,$$

d'où $$\mathcal{T} = \left(\frac{c_p}{AB}-1\right)(pv-p_0v_0)+\left(\frac{c_p}{AB}-\frac{n}{1}\right)C(p^n-p_0^n), \quad (97)$$

ou encore $$\mathcal{T} = \left(\frac{c_p}{AB}-1\right)B(T-T_0)+C\left(1-\frac{1}{n}\right)(p^n-p_0^n) \quad (98)$$

et $$\mathcal{T} = \left(\frac{c_p}{AB}-1\right)B(T-T_0)+C\,\frac{1-\frac{1}{n}}{p_0^n}\left[\left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{nc_p}{AB}}-1\right] \quad (99)$$

§ 29. Nous pourrons maintenant établir les équations relatives à la compression du gaz liquéfiable dans le cylindre. Un poids m de gaz occupant le volume V_2 à la température T_2 et sous la pression P_2 est comprimé jusqu'à ce qu'il atteigne la pression P_1 du condenseur. La température T_1 à la fin de la compression sera donnée par l'équation (95),

$$T_1 = T_2\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{AB}{c_p}} \quad (100)$$

et le travail de la compression, y compris celui du refoulement, sera :

$$\left.\begin{aligned} \mathcal{T}_r &= \frac{mc_p}{AB}(P_1V_1 - P_2V_2) + m\left(\frac{AB}{c_p}-\frac{1}{n}\right)C(P_1^n - P_2^n) \\ \text{ou}\quad \mathcal{T}_r &= \frac{mc_p}{A}(T_1-T_2)-\frac{mCP_2^n}{n}\left[\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{nc_p}{AB}}-1\right] \end{aligned}\right\} \quad (101)$$

m est donné par l'équation

$$m = \frac{P_2V_2}{BT_2-CP_2^n} = \frac{V_2}{u_2+\frac{0,001}{\delta}}, \quad (102)$$

Le volume final $\quad V_1 = V_2\,\frac{P_2}{P_1}\cdot\frac{BT_1-CP_1^n}{BT_2-CP_2^n}.$

On refroidit le gaz dans le condenseur sous pression onstante. Le volume V_1 devient V'_1 au moment où la température devient T'_1 ; puis le gaz se liquéfie.

On a : $$V'_1 = V_2 \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{BT'_1 - CP_1^n}{BT_2 - CP_2^n},$$

t la quantité de chaleur enlevée par le condenseur est :

$$Q_1 = mc_p(T_1 - T'_1) + mr'_1. \qquad (103)$$

Le volume occupé par le liquide est :

$$v_1 = \frac{0{,}001 \, . \, m}{\delta};$$

étant la densité du liquide supposée constante.

On fait passer ensuite ce liquide dans le réfrigérant sans ii faire produire de travail moteur.

La quantité mx_2 de gaz qui se vaporise pendant que la ression passe de P_1 à P_2 et la température de T'_1 à T_2 est, après l'équation (84),

$$mx_2r_2 = m(q'_1 - q_2).$$

La quantité de chaleur négative disponible Q est :

$$Q = m(1 - x_2)r_2$$

ı $$Q = m(\lambda_2 - q'_1) \qquad (104)$$

l'on a : $$Q_1 - Q = mc_p(T_1 - T'_1) + m(r'_1 + q'_1 - r_2 - q_2)$$

ı $$Q_1 - Q = mc_p(T_1 - T'_1) + m(\lambda'_1 - \lambda_2).$$

On peut vérifier l'égalité $Q_1 - Q = A\mathcal{E}_r$, ou

$$\lambda'_1 - \lambda_2 = c_p(T'_1 - T_2) - \frac{AC}{n}(P_1^n - P_2^n).$$

Reportons-nous en effet à l'équation fondamentale

$$dQ = AdU + APdv$$

et faisons $dQ = o$, il vient :

$$m dU = - mP dv = - d\mathfrak{E},$$

et par suite,

$$U_1 - U_2 = \left(\frac{c_p}{AB} - 1\right) B(T_1 - T_2) + C\left(1 - \frac{1}{n}\right)(P_1^n - P_2^n). \quad (105)$$

On a d'ailleurs, par définition,

$$\lambda = AU + APv,$$

équation qui exprime que la chaleur totale de la vapeur à $t°$ est égale à la chaleur interne AU augmentée de l'équivalent thermique du travail extérieur de la vaporisation et de la dilatation.

On a donc $\lambda_1 - \lambda_2 = c_p(T_1 - T_2) - \frac{AC}{n}(P_1^n - P_2^n).$

Cette équation s'applique à la vapeur surchauffée à partir de son point de saturation. Elle s'applique encore au point de saturation ; on a donc :

$$\lambda'_1 - \lambda_2 = c_p(T'_1 - T_2) - \frac{AC}{n}(P_1^n - P_2^n), \quad (106)$$

ce qui vérifie l'égalité $Q_1 - Q = A\mathfrak{E}_r$.

L'équation (105) peut s'écrire :

$$U - U_0 = \left(\frac{c_p}{AB} - 1\right)(Pv - P_0 v_0) + \left(\frac{c_p}{AB} - \frac{1}{n}\right) C(P^n - P_0^n).$$

Si l'on avait $\frac{c_p}{AB} - \frac{1}{n} = o,$

cette équation deviendrait :

$$U = U_0 + \frac{1-n}{n}(Pv - P_0 v_0).$$

Sous cette forme, elle exprime la loi de M. Hirn sur les vapeurs surchauffées, ainsi conçue : à partir du point de con-

densation, jusqu'au point où la vapeur surchauffée possède les mêmes propriétés que les gaz permanents, le produit pv reste constant quand le travail intérieur reste constant.

Mais l'égalité $\frac{c_p}{AB} = \frac{1}{n}$ ne se vérifie pas pour les deux gaz liquéfiables que nous avons étudiés, et par suite on ne peut leur appliquer la loi de Hirn.

§ 30. Prenons des exemples numériques et supposons, comme précédemment, que l'on aspire 1 mètre cube de gaz à la température de $-15°$, sous la pression correspondante à cette température, et qu'on le comprime jusqu'à ce que la pression soit égale à celle du condenseur; enfin que la température à l'intérieur de ce dernier soit de $+18°$.

Acide sulfureux. — L'équation (102) donne :

$$m = \frac{1}{0{,}419 + \frac{0{,}001}{1{,}42}} = 2^k{,}382.$$

L'équation (100) donne, en faisant $c_p = 0{,}15438$ d'après M. Regnault, et $\frac{AB}{c_p} = 0{,}211882$:

$$T_1 = T_2 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{0{,}21188} = 334{,}31 \quad \text{ou} \quad t_1 = 68°{,}80.$$

Les équations (103) et (104) donnent

$$Q_1 = 227{,}49,$$
$$Q = 197{,}75,$$

d'où

$$A\mathfrak{E}_r = Q_1 - Q = 28{,}71,$$
$$\mathfrak{E}_r = 12173.$$

et le rendement théorique $= 0^c{,}0162$, soit par cheval et par heure, 4.374 calories.

Dans une machine à double effet, marchant à grande vitesse, on ne peut guère évaluer le travail des résistances passives à moins de 15 p. 100 du travail dépensé,

$$1{,}15\ \mathfrak{E}_r = 13.998,$$

et le rendement $=0{,}0141$, ou par cheval et par heure, 3.807 calories.

Ce rendement est le double de celui que fournit une machine travaillant avec de l'air sec entre les mêmes limites de température. Cette différence provient, non pas de ce que l'air est théoriquement un moins bon intermédiaire pour produire le froid, mais de ce que la machine à air ayant pour un même effet utile des dimensions beaucoup plus grandes que les machines à gaz liquéfiables, les résistances passives sont proportionnellement beaucoup plus considérables dans la première que dans les secondes.

§ 31. Ordinairement on ne descend pas avec les machines à acide sulfureux jusqu'à la température de — 15°.

On règle l'ouverture du robinet qui fait communiquer le condenseur avec le réfrigérant de telle sorte que la pression dans ce dernier soit d'environ $\frac{9}{10}$ d'atmosphère, correspondant à une température de — 12°41.

$$P_2 = 9301, \qquad t_2 = -12°{,}41;$$

P_2 étant égal à 9.301^{kg}, t_2 à $-12°{,}41$, les tables insérées à la fin de ce mémoire donnent :

$$m = \frac{1}{v_2} = 2^k{,}784,$$
$$r_2 = 94{,}377,$$
$$q_2 = -4{,}517,$$
$$u_2 = 0{,}3863,$$

et au moyen des équations (100), (102), (103) et (104) du § 29, il est facile de calculer les quantités T_1, Q_1, Q et $\mathfrak{E}_r$.

Les résultats de ces calculs sont consignés dans le tableau suivant, qui donne la chaleur négative disponible, le travail absorbé et le rendement par mètre cube de gaz acide sulfureux passant dans l'appareil, en supposant que celui-ci

§ 32. Les *fig.* (3) et (4), Pl. III, représentent, d'après un dessin que nous a communiqué M. Pictet, la machine à froid qui porte son nom.

A est le cylindre de compression à double effet portant quatre soupapes. Il est à double enveloppe avec circulation d'eau froide autour de la partie cylindrique. Le gaz comprimé jusqu'à la pression correspondant à la température de l'eau dont on dispose pour le refroidissement, ordinairement $1^k,8$ à 2 kilog. (pression effective), est refoulé par le tuyau T dans le condenseur C, où il se liquéfie. Ce condenseur est construit comme les condenseurs de surface des machines marines. La surface de condensation est d'environ 24 mètres carrés pour 100.000 calories *théoriques* produites par heure, soit 48 mètres carrés pour 100.000 calories *effectives* mesurées d'après la glace produite.

La quantité d'eau à employer dépend de l'écart que l'on veut obtenir entre les températures à l'intérieur et à l'extérieur du condenseur.

Si l'on veut que cet écart soit de 5°, chaque litre d'eau abandonne 5 calories et la quantité d'eau à employer sera, pour 100 calories théoriques produites, de $\frac{Q_1 100}{5Q} = 20 \frac{Q_1}{Q}$, soit dans l'exemple du § 31 et pour une température de 20° au condenseur, $22^{lit},8$.

L'acide sulfureux liquide passe dans le réfrigérant R par le tuyau T', et l'on règle le débit au moyen du robinet *r*, de manière que la pression soit de $0^{atm},9$ dans le réfrigérant et de 3 atmosphères absolues dans le condenseur. Si l'on diminue l'ouverture du robinet, on fait baisser la pression dans le réfrigérant et la température s'abaisse, mais l'effet utile de l'appareil diminue, puisque pour un même volume décrit par le piston compresseur, le poids de gaz aspiré est moindre. Nous retrouvons donc ici l'élasticité,

c'est-à-dire la possibilité de faire varier à volonté le refroidissement et l'effet utile d'un même appareil, que nous avions signalée dans les machines à air.

Le réfrigérant R est construit comme le condenseur. Sa surface est de 29 mètres carrés pour 100.000 calories négatives théoriques produites par heure. Il est plongé dans un bain incongelable formé d'une dissolution de chlorure de calcium. La température à l'intérieur du réfrigérant étant de — 12°, celle du bain est maintenue à — 7° environ. C'est dans ce bain que sont introduits les moules dans lesquels on fait la glace.

Enfin l'acide sulfureux gazeux retourne au cylindre compresseur par le tuyau T″.

Tant que l'acide sulfureux anhydre est maintenu hors du contact de l'air, il ne se décompose point; mais il formerait de l'acide sulfurique, si des rentrées d'air le mettaient en contact avec l'oxygène. Les appareils doivent donc être construits avec une précision et un soin exceptionnels pour empêcher les rentrées d'air. On a imaginé dans ce but des dispositions particulières pour les joints et pour le presse-étoupe de la tige du piston. Nous n'entrerons pas dans ces détails de construction.

§ 33. On a essayé autrefois une machine à gaz ammoniac qui n'a pas donné, paraît-il, de bons résultats; mais cet insuccès provenait plutôt d'une insuffisance dans la surface d'évaporation du réfrigérant que d'un défaut inhérent à l'emploi du gaz lui-même. Le gaz ammoniac présente l'avantage de donner un effet utile trois fois plus considérable environ que l'acide sulfureux pour un même volume décrit par le piston. Mais cet avantage est racheté par l'inconvénient résultant des hautes pressions qui se développent dans l'appareil et qui rendent l'entretien plus difficile, les fuites plus nombreuses, etc.

Entre les limites de température — 12°,41 dans le réfri-

gérant, + 18° dans le condenseur, on trouve, pour le gaz ammoniac :

$$P_2 = 26.559 \text{ kilog.}$$
$$r_2 = 321{,}06,$$
$$u_2 = 0{,}461,$$
$$q_2 = -12{,}19,$$

et l'on a :

$$c_p = 0{,}508\,36,$$
$$\frac{AB}{c_p} = 0{,}242615.$$

On en déduit, pour un volume de 1 mètre cube décrit par le piston :

$$m = 2^k{,}163,$$
$$T_1 = 342{,}75, \qquad t_1 = 69^\circ{,}75,$$
$$Q_1 = 709^c{,}48,$$
$$Q = 627{,}03,$$
$$A\mathcal{E}_r = Q_1 - Q = 82{,}45, \qquad \mathcal{E}_r = 34.959^{kg}.$$

Rendement théorique : $0^c{,}0179$, ou 4.833^c par cheval et par heure.

En faisant fonctionner l'appareil entre — 30° et + 18°, on trouve :

$$P_2 = 119\,18 \text{ kilog.}$$
$$r_2 = 330{,}48,$$
$$u_2 = 0{,}9463,$$
$$q_2 = -31{,}82,$$
$$m = 1^k{,}0553,$$
$$T_1 = 388{,}20, \qquad t_1 = 115^\circ{,}20,$$
$$Q_1 = 370{,}52,$$
$$Q = 295{,}44.$$
$$A\mathcal{E}_r = Q_1 - Q = 75{,}08, \qquad \mathcal{E}_r = 31.834.$$

Rendement théorique : 0,00928, ou 2505^c par cheval et par heure.

CHAPITRE IV.

MACHINE A AFFINITÉ.

4. Il nous reste enfin à étudier les machines à froid
ι affinité, dont le type est la machine à ammoniaque
Carré.
fig. 5, Pl. III, extraite d'un mémoire de M. Rouart
s machines à froid, montre la disposition d'ensemble
appareil.
e compose d'une chaudière A dans laquelle se trouve
ssolution concentrée d'ammoniaque dans l'eau; cette
ière est chauffée, soit directement par un foyer,
e le montre la figure, soit indirectement au moyen
yaux amenant de la vapeur produite par une chau-
ordinaire;
n condenseur B, refroidi extérieurement par un cou-
l'eau froide, et qui est en communication, par un
aa, avec la partie supérieure de la chaudière;
n réfrigérant C, disposé pour l'utilisation du froid
it, et dont la partie supérieure est en communication,
n tuyau *bb*, avec la partie inférieure du condenseur;
spositions de détail de ces deux vases ne sont pas
es sur le dessin, qui est seulement destiné à montrer
rche de l'appareil;
n vase d'absorption D, rempli d'une solution aqueuse
noniaque pauvre. Un tuyau *cc* met le réfrigérant en
unication avec le vase d'absorption.
ui-ci communique en outre avec la chaudière par deux
x; l'un *dd* part du fond de la chaudière et arrive
le haut du vase d'absorption, l'autre *ff* part du fond
dernier et arrive dans le haut de la chaudière. Sur
au *ff* se trouve une petite pompe destinée à refouler

le liquide du vase d'absorption, où la pression est maintenue aux environs d'une atmosphère, dans la chaudière, où la pression est de 8 à 12 atmosphères.

Enfin, sur le parcours des tuyaux *ff* et *dd* es installé un échangeur de température dont le jeu se comprend facilement à l'inspection de la figure.

Voici comment fonctionne l'appareil. On chauffe la solution ammoniacale de la chaudière; le gaz ammoniac se dégage de la dissolution, la pression s'élève; quand elle a atteint la pression correspondant à la tension du gaz saturé à la température du condenseur, il y a liquéfaction du gaz et d'une certaine quantité de vapeur d'eau. Au moyen du robinet *h*, on règle l'écoulement du gaz liquéfié dans le réfrigérant C. Là il se vaporise en enlevant de la chaleur aux corps qui sont en contact avec le réfrigérant. Au fur et à mesure de leur production, les vapeurs sont absorbées par la solution pauvre du vase D, et la petite quantité d'eau provenant de la condensation en B est entraînée mécaniquement.

Sous l'influence de la chaleur, il se produit dans la chaudière A une décantation en vertu de laquelle un liquide plus riche se porte à la partie supérieure, un liquide plus pauvre à la partie inférieure. Le liquide pauvre est envoyé par le tuyau *dd* dans le vase D en passant par un robinet *g* dont on règle convenablement l'ouverture, tandis que la pompe reprend une égale quantité de liquide riche dans le vase D et le renvoie dans la chaudière. Sur ce double parcours, il y a échange de température, de sorte que le liquide pauvre arrive froid dans le vase d'absorption, tandis que le liquide riche arrive chaud dans la chaudière.

Toute la marche de l'appareil repose sur le réglage des robinets *g* et *h* et de la pompe. On peut, en le modifiant, faire varier la pression et par suite la température dans le réfrigérant C.

On voit que cet appareil fonctionne exactement comme

les machines à gaz liquéfiables et à force mécanique que nous avons décrites dans le chapitre précédent.

Le vase D remplit l'office d'aspirateur, la chaudière A joue le rôle de compresseur.

La force mécanique produisant l'aspiration est remplacée par l'affinité de l'eau pour le gaz ammoniac; et la force mécanique nécessaire à la compression est remplacée par la chaleur qui rompt cette affinité et qui met le gaz en liberté. On prévoit donc d'avance que nous retrouverons ici la plupart des équations que nous avons établies pour la machine à gaz liquéfiable.

§ 35. Nous supposerons tout d'abord que, sous l'influence de la chaleur communiquée à la solution ammoniacale de la chaudière A, il ne sorte de cette chaudière que du gaz ammoniac et point de vapeur d'eau. Considérons un certain poids de gaz entrant dans la chaudière à l'état de dissolution. Il sera échauffé, puis séparé par la chaleur de son dissolvant; il faudra pour cela employer une certaine quantité de chaleur Q'. Amené dans le condenseur, il sera refroidi, puis liquéfié, et il aura cédé à l'eau qui entoure le serpentin une quantité de chaleur Q_1; dans le réfrigérant, il s'évaporera en empruntant à l'extérieur une quantité de chaleur Q; il sera absorbé par le liquide du vase D d'absorption, en dégageant de la chaleur qui viendra en déduction de celle que doit fournir la chaudière, et enfin il sera renvoyé à la chaudière, où il arrivera exactement dans son état primitif. A cause de l'échangeur de chaleur E, toute la chaleur du liquide pauvre sortant de la chaudière sera restituée au liquide riche y entrant, de sorte que les changements de température de l'eau ne nécessitent aucune dépense de chaleur.

Dans ce cycle complet, si l'on néglige le petit travail accompli par la pompe, et les refroidissements ou réchauffements dus au contact de l'air, il est clair que toute la

chaleur fournie extérieurement, 1° par la chaudière, Q', 2° par le réfrigérant Q, sera égale à la chaleur Q_1, enlevée par l'eau du condenseur.

On aura donc

$$Q' = Q_1 - Q,$$

et le rendement sera $\frac{Q}{Q_1 - Q}$, expression identique à celle que nous avons trouvée pour les machines à action mécanique.

La quantité Q', quantité de chaleur qu'il faut dépenser pour produire la quantité Q de calories négatives, étant égale à $Q_1 - Q$, a la même expression que la quantité $A\mathfrak{C}_r$, équivalent calorifique du travail mécanique à dépenser dans les machines à action mécanique pour produire cette même quantité Q de calories négatives. Nous allons montrer plus loin qu'entre les mêmes limites de température dans le condenseur et dans le réfrigérant, et pour une même valeur de Q, la quantité Q' des machines à affinité, est sinon rigoureusement, au moins très-approximativement égale à la quantité $A\mathfrak{C}_r$.

Nous arrivons donc à ce résultat remarquable que dans toutes les machines à froid, quand on opère entre les mêmes limites de température, la quantité théorique de chaleur négative produite est exactement la même par calorie dépensée, soit directement dans la machine à affinité, soit indirectement, sous forme de travail, dans les machines à action mécanique.

Seulement comme une calorie représentée par 424 kilogrammètres coûte, dans les meilleures machines motrices, au moins 10 calories dépensées effectivement dans un foyer, il résulte de là que la machine à affinité présente théoriquement un avantage considérable sur toutes les autres, puisque la chaleur y est employée directement et non sous la forme coûteuse du travail mécanique. Pratiquement,

, avantage, qui subsiste encore pour la machine à affinité, ; néanmoins bien inférieur à celui qui semblerait résulter s chiffres ci-dessus, ainsi que nous le montrerons ci-après.

§ 36. Il s'agit pour le moment, et en nous plaçant dans ypothèse énoncée au début du § 35, de déterminer les antités Q', Q_1 et Q, en fonction des températures, des essions et du poids du gaz circulant.

Nous conserverons les mêmes notations que dans le cha- re précédent ; T_1 sera la température absolue du gaz à entrée dans le condenseur, T'_1 sa température absolue ns le condenseur, T_2 la température absolue dans le ré- gérant.

Soit m le poids de gaz considéré, occupant le volume V_2 la température T_2 et sous la pression P_2, à son entrée ns le vase d'absorption;

AU sa chaleur intérieure à la température T ;

q_t la chaleur nécessaire pour élever de o à $t°$ la tempé- ure d'un kilogramme d'eau.

Après que le gaz aura été absorbé par l'eau, la tempé- ure absolue du mélange sera devenue T'_2.

Pendant l'opération de l'absorption du gaz, il y a un vail extérieur accompli, égal à $P_2(V_2 - \omega)$, ω étant le ume de l'eau.

La différence entre les chaleurs internes avant et après ération est égale à ce travail extérieur. On a donc :

$$q'_{t_2} + mAU'_2 - q_{t_2} - mAU_2 = AP_2(V_2 - \omega).$$

La dissolution est envoyée dans la chaudière, et on la uffe jusqu'à ce que tout le gaz en soit chassé ; il occupe rs le volume V_1 sous la pression P_1 et à la tempéra- e T_1. La quantité de chaleur nécessaire Q″ est égale à différence des chaleurs internes, augmentée du travail érieur accompli. Ce travail est égal à $P_1(V_1 - \omega)$, moins ravail de la pompe $(P_1 - P_2)\omega$.

On a donc :

$$Q'' = q_{e_1} - q'_{e_2} + mAU_1 - mAU'_2 + AP_1(V_1 - \omega) - A(P_1 - P_2)\omega.$$

Additionnant membre à membre avec l'équation précédente, on trouve :

$$Q'' = q_{e_1} - q_{e_2} + mA(U_1 - U_2) + AP_1V_1 - AP_2V_2.$$

Cette équation est établie sans tenir compte de l'effet de l'échangeur de température. Cet échangeur fournit à la dissolution qui entre dans la chaudière une quantité de chaleur précisément égale à $q_{e_1} - q_{e_2}$. La quantité de chaleur Q', à fournir par la chaudière pour porter le gaz de la pression P_2 à la pression P_1, et de la température T_2 à la température T_1, est donc :

$$Q' = mA(U_1 - U_2) + AP_1V_1 - AP_2V_2. \qquad (107)$$

Or les équations (101) et (105) nous donnent, dans le cas de la compression par une force mécanique :

$$A\mathfrak{E}_r = mA(U_1 - U_2) + AP_1V_1 - AP_2V_2,$$

équation identique à la précédente.

Nous avons donc $Q' = A\mathfrak{E}_r$, pourvu que la température T_1, dans le cas où le changement de pression du gaz est obtenu par la chaleur combinée avec l'affinité, soit la même que dans le cas où ce changement est dû à une force mécanique. L'expérience montre qu'il en est à peu près ainsi.

On conçoit, en effet, que la température à laquelle il faut chauffer la solution ammoniacale pour amener le gaz à une pression déterminée, soit d'autant plus forte que cette solution est plus pauvre. Or, dans l'appareil à froid, la dissolution envoyée dans la chaudière contient d'autant moins de gaz que la pression dans le réfrigérant est plus faible. On comprend ainsi comment la température T_1 doit augmenter à mesure que la température T_2 du réfrigérant di-

nue. Malheureusement les expériences précises manquen
ce point.

Voici une série d'observations faites par M. Rouart sur appareil Carré et donnant les températures de la chaure correspondant à des pressions variables du conseur.

La première colonne de chaque tableau donne les presns absolues observées en atmosphères et en kilommes; la deuxième, les températures observées direcent dans la chaudière; la quatrième, les températures l'eau du condenseur; la cinquième colonne donne, près la table du § 22, les températures du gaz liquéfié, respondant aux pressions de la première colonne, les pératures sont celles de l'intérieur du condenseur, et s sont naturellement plus élevées que celles de l'extéur, puisqu'il doit y avoir un écart entre elles pour qu'il it transmission de chaleur.

Dans le cas de la compression mécanique, la tempérae finale T_1 est liée à la température initiale T_2 et aux ssions initiale et finale par la relation (100).

$$T_1 = T_2 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{AR}{c_p}}.$$

La troisième colonne du tableau donne les températures, culées d'après la formule (100), en supposant $T_2 = 243$, $= 11.918$,

Première série.

PRESSION dans la chaudière.		TEMPÉRATURES de la chaudière.		TEMPÉRATURE de l'eau du condenseur.	TEMPÉRATURE à l'intérieur du condenseur.	ÉCART entre les températures à l'intérieur et à l'extérieur du condenseur.	OBSERVATIONS.
Atm.	Kilog.	observées.	calculées.	condenseur.	condenseur.	condenseur.	
		degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	
1 1/2	15.501	48	»	9	»	»	
2	20.668	58	»	9	»	»	
2 1/2	25.835	65	»	9	»	»	
3	31.002	70	»	9	»	»	
3 1/2	36.169	75	»	9	»	»	
4	41.336	80	»	9	»	»	
4 1/2	46,503	84	»	9	»	»	
5	51.670	88	»	9	»	»	
5 1/2	56.837	92	»	9	»	»	
6	62.004	94	»	9	»	»	
6 1/2	67.171	100	»	10	»	»	Le gaz liquéfié apparait et l'appareil commence à fonctionner.
7 1/4	74.921	106	106	10	15,0	5,0	
7 1/2	77.505	108	109	10	16,1	6,1	
8	82.672	112	116	12	18,0	6,0	
8 1/2	87.839	116	121	13	20,0	7,0	
9	93.006	120	127	14	21,7	7,7	
9 1/2	98.173	124	132	15	23,3	8,8	
10	103.340	128	137	17	25,1	8,1	
10 1/2	108.507	132	142	17	26,7	9,7	
11	113.674	136	147	19	28,1	9,1	
12	123.998	142	156	24	31,0	7,1	
13	134.332	146	164	30	32,8	2,8	
14	144.666	152	172	35	36,0	1,0	
15	155.000	156	180	37	38,0	1,0	
15	155.000	158	180	39	38,0	»	

Deuxième série.

PRESSIONS absolues observées.		TEMPÉRATURE de la chaudière.		TEMPÉRATURE de l'eau du condenseur	TEMPÉRATURE à l'intérieur du condenseur	ÉCART entre les températures à l'intérieur et à l'extérieur du condenseur.	OBSERVATIONS.
Atm.	Kilog.	observées.	calculées.	(observée).	(calculée).		
		degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	
3	31.002	73	»	8	»	»	
4 1/2	46.503	90	»	8	»	»	
5	51.670	94	»	8	»	»	
5 1/2	56.837	100	»	8	»	»	
6	62,001	103	»	8	»	»	
6 1/2	67.171	106	»	8	»	»	
7	72.338	110	»	9	14,1	»	Le gaz liquéfié apparaît.
7 1/2	77.505	118	109	10	16,1	6,1	
8	82.672	124	116	12	18,0	6,0	
8 1/2	87.839	130	121	14,5	20,0	5,5	
9	93.006	136	127	15	21,7	6,7	
9 1/2	98.173	140	132	16	23,3	7,3	
10	103.340	146	137	17	25,1	8,1	
10 3/4	111.089	147	145	19	27,4	8,4	
11 3/4	121.423	148	153	16 (?)	30,4	14,4 (?)	
13	134.332	148	164	16 (?)	32,8	16,8 (?)	
14	144.666	154	172	35	36,0	1	
15	155.000	160	180	38	38,0	0	
15 1/2	160.167	163	180	38	40,0	2	

Pour les pressions moyennes, les températures calculées coïncident à peu près avec les températures observées. Pour les hautes pressions, elles sont toujours plus élevées que ces dernières. Mais il faut remarquer que dans ce cas la vapeur d'eau mélangée au gaz exerce une influence de plus en plus grande et que les pressions réelles du gaz doivent être alors notablement inférieures aux pressions observées qui servent de base aux calculs.

La condensation dans le condenseur et l'évaporation dans le réfrigérant s'effectueront exactement comme dans le cas d'une machine à action mécanique. Nous aurons donc, comme au § 27,

$$Q_1 = mc_p(T_1 - T'_1) + mr'_1,$$

$$x_2 r_2 = q'_1 - q_2,$$

$$Q = m(1 - x_2)r_2 = mr_2 - m(q'_1 - q_2),$$

$$m = \frac{V_2}{u_2 + \frac{0{,}001}{\delta}} = \frac{V_2}{v_2}.$$

$$Q' = Q_1 - Q.$$

Les deux tableaux suivants donnent les résultats des calculs pour 1 mètre cube de gaz ammoniac circulant dans l'appareil et pour des températures à l'intérieur du condenseur variant de + 15° à + 40° :

1° Dans le cas où la température à l'intérieur du réfrigérant est de — 15° ;

2° Dans le cas où cette température est de — 30°.

Les nombres de la dernière colonne (rendement théorique par kilogramme de houille brûlée) sont obtenus en supposant que dans la combustion d'un kilogramme de charbon on utilise 4.000 calories.

Premier cas : $t_2 = -15°$, $m = 1^k,932$.

TEMPÉRATURE à l'intérieur du condenseur t'_1.	TEMPÉRATURE dans la chaudière t_1.	NOMBRE de calories enlevées par le condenseur Q_1.	NOMBRE de calories négatives disponibles Q.	NOMBRE de calories dépensées Q_1-Q.	RENDEMENT théorique $\frac{Q}{Q_1-Q}$.	RENDEMENT théorique par kilogramme de houille brûlée $4.000\frac{Q}{Q_1-Q}$.
degrés.	degrés.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.
15	67,77	638,71	564,83	73,88	7,645	30.580
20	81,74	640,76	554,49	86,27	6,427	25.708
25	95,69	642,61	543,98	98,63	5,515	22.060
30	109,61	644,12	533,29	110,83	4,813	19.252
35	123,47	645,53	522,43	123,10	4,244	16.976
40	137,27	646,57	511,31	135,26	3,779	15.116

Deuxième cas : $t_2 = -30°$, $m = 1^k,023$.

TEMPÉRATURE à l'intérieur du condenseur t'_1.	TEMPÉRATURE dans la chaudière. t_1.	NOMBRE de calories enlevées par le condenseur Q_1.	NOMBRE de calories négatives disponibles Q.	NOMBRE de calories dépensées $Q_1 - Q$.	RENDEMENT théorique $\frac{Q}{Q_1-Q}$.	RENDEMENT théorique par kilogramme de houille brûlée $4.000\frac{Q}{Q_1-Q}$.
degrés.	degrés.	cal	cal.	cal.	cal.	cal.
15	106,07	361,77	293,04	68,73	4,263	17.052
20	121,61	364,09	287,57	76,52	3,771	15.084
25	137,13	366,31	282,01	84,30	3,345	13.380
30	152,61	368,38	276,35	92,03	3,003	12.012
35	168,03	370,31	270,60	99,71	2,714	10.856
30	183,38	372,09	264,71	107,38	2,465	9.860

Les rendements indiqués par les tableaux précédents sont considérables ; ils varient, en effet, de 9.860 à 30.580 calories négatives par kilogramme de charbon brûlé. On est bien loin de les atteindre dans la pratique, parce qu'ils s'appliquent à une marche idéale de l'appareil, marche qu'il est impossible de réaliser.

Nous n'avons pas tenu compte, en effet, dans nos calculs de deux faits qui modifient profondément les résultats théoriques auxquels ils conduisent, savoir :

1° La nécessité de refroidir le vase d'absorption pour que la dissolution du gaz soit suffisamment active ;

2° L'influence de l'eau entraînée en même temps que le gaz hors de la chaudière.

Nous allons examiner l'influence de ces deux causes de perte.

§ 37. Lorsque le gaz ammoniac se dissout dans l'eau, il produit un dégagement de chaleur considérable.

MM. Fabre et Silbermann ont mesuré cette chaleur de dissolution et l'ont trouvée égale à $514^{cal},3$ par kilogramme de gaz dissous.

Le liquide du vase d'absorption dissolvant continuellement le gaz provenant du réfrigérant, sa température s'élè-

verait rapidement, et, comme la solubilité diminue avec la température, la dissolution ne se ferait bientôt plus et l'appareil cesserait de fonctionner. On est donc obligé de refroidir constamment par un courant d'eau le vase d'absorption, de manière à maintenir sa température constante; nous admettrons que celle-ci soit égale à celle du condenseur, c'est-à-dire à t'_1.

Si nous appelons Q'_1 la quantité de chaleur qu'on enlève ainsi au vase d'absorption, nous aurons évidemment :

$$Q_1 + Q'_1 = Q + Q',$$

ou

$$Q' = Q_1 + Q'_1 - Q.$$

D'un autre côté, le gaz arrivant au condenseur est toujours mélangé d'une certaine quantité de vapeur d'eau. La proportion est ordinairement de 6 à 8 d'eau pour 100 de gaz. On a pu récemment la réduire à 3 p. 100, en employant, comme dissolvant du gaz ammoniac, non de l'eau pure, mais une dissolution de chlorure de calcium dans l'eau.

L'eau entraînée réduit les rendements dans une notable proportion.

Elle augmente en pure perte la quantité de chaleur à fournir à la chaudière. Arrivée dans le réfrigérant, elle ne s'évapore point et retient au contraire une partie de l'ammoniaque dont elle empêche la volatilisation.

Elle agit donc, mais avec une intensité plus grande, à peu près comme les espaces nuisibles agissent dans une machine à action mécanique.

Nous allons déterminer l'influence de cet entraînement d'eau.

m étant encore le poids de gaz expulsé de la chaudière, appelons μ le poids de l'eau entraînée, affectons de l'indice e les quantités r et q relatives à l'eau.

Quand le mélange passera au condenseur, la vapeur

d'eau se liquéfiera et absorbera un certain poids m' de gaz, et l'on aura :

$$m' = \frac{0{,}001 \beta'_1 \mu}{v'_1}; \qquad (108)$$

β'_1 étant le coefficient de solubilité en volume du gaz dans l'eau à la température t'_1; $\frac{1}{v'_1}$ étant le poids du mètre cube de gaz à cette température.

D'après Carius, le coefficient de solubilité du gaz ammoniac dans l'eau est représenté par la formule empirique:

$$\beta = 1049{,}624 - 29{,}4963t + 0{,}676873t^2 - 0{,}0095621t^3.$$

La quantité de chaleur Q_1 qu'absorbera le condenseur est égale à la quantité de chaleur nécessaire pour abaisser la température du poids m de gaz de t_1 à t'_1, plus la quantité de chaleur nécessaire pour liquéfier le poids $m - m'$ de gaz, plus la quantité de chaleur nécessaire pour liquéfier et porter à la température t'_1 le poids μ de vapeur d'eau, plus la chaleur dégagée par la dissolution du poids m' de gaz.

On aura donc :

$$Q_1 = mc_p(T_1 - T'_1) + (m - m')r'_1 + \mu(qe_1 - q'e_1 + re_1) + m's'_1, \qquad (109)$$

en appelant s'_1 la chaleur dégagée par la dissolution de 1 kilog. d'ammoniaque dans l'eau à la température t'_1.

Le mélange passant dans le réfrigérant, une certaine quantité de gaz liquéfié se volatilise, jusqu'à ce que la pression et la température soient devenues égales à la pression P_2 et à la température T_2 du réfrigérant. L'eau retiendra dissous un poids m'' de gaz donné par la relation

$$m'' = \frac{0{,}001 \beta_2 \mu}{v_2}. \qquad (110)$$

La quantité de gaz volatilisé $(m-m')x_2$ est donnée par l'équation :

$$\left.\begin{array}{l}(m-m')x_2r_2+(m'-m'')s_2=(m-m')(q'_1-q_2)+\\ \quad +\mu(q'e_1-qe_2)+m'c_p(T'_1-T_2).\end{array}\right\}\quad(111)$$

La quantité de chaleur négative disponible est :

$$Q=(m-m')(1-x_2)r_2 \quad (112)$$

ou $$\left.\begin{array}{l}Q=(m-m')(r_2-q'_2+q_2)+(m'-m'')s_2-\\ \quad -\mu(q'e_1-qe_2)-m'c_p(T'_1-T_2).\end{array}\right\}\quad(113)$$

La quantité de chaleur Q'_1 qu'il faut enlever au vase d'absorption, pour maintenir sa température constante, est égale à la chaleur de dissolution du poids $m-m''$ de gaz, moins la quantité de chaleur nécessaire pour élever de T_2 à T'_1 la température du poids m de gaz et du poids μ d'eau.

$$Q'_1=(m-m'')s'_1-mc_p(T'_1-T_2)-\mu(q'_{e_1}-q_{e_2}). \quad (114)$$

La quantité de chaleur Q' qu'il faut dépenser dans la chaudière est égale à $Q_1+Q'_1-Q$. On a donc, toutes réductions opérées :

$$\begin{array}{l}Q'=m[c_p(T_1-T'_1)+s'_1]+(m-m')[\lambda'_1-\lambda_2-c_p(T'_1-T_2)]+\\ \quad +(m'-m'')(s'_1-s_2)+\mu(\lambda_{e_1}-q'_{e_1}).\end{array}$$

La chaleur de dissolution s varie probablement avec la température et avec la pression du gaz ; mais nous ne connaissons pas la loi de ces variations et nous admettons que cette quantité est constante et égale à $514^{cal},3$, chiffre trouvé par MM. Favre et Silbermann pour la pression et la température ordinaires.

Faisant $s'_1=s_2=s$ dans l'équation précédente, il vient :

$$\left.\begin{array}{l}Q'=m[c_p(T_1-T'_1)+s]+\\ \quad +(m-m')[\lambda'_1-\lambda_2-c_p(T'_1-T_2)]+\mu(\lambda_{e_1}-q'_{e_1}).\end{array}\right\}\quad(115)$$

'ailleurs :

$$m = \frac{V_2}{u_2 + \frac{0,001}{\delta}} = \frac{V_2}{v_2}.$$

Les deux tableaux suivants donnent les résultats
nissent les équations précédentes dans les deux
traités au § 36, en supposant que le poids de l'eau
soit de 5 p. 100 du poids du gaz circulant.

$t_2 = -15°$, $m = 1^k,938$, $m'' = 0^k,3091$, $\mu = 0^k,0966$.

TEMPÉRATURE dans la chaudière t_1.	NOMBRE de calories enlevées au condenseur et au vase d'absorption $Q_1 + Q'_1$.	NOMBRE de calories négatives disponibles Q.	NOMBRE de calories dépensées Q'.	RENDEMENT théorique $\frac{Q}{Q'}$.	RENDEMENT théorique par kilogramme de houille brûlée $4.000 \frac{Q}{Q'}$.	POIDS de gaz dissous par l'eau entraînée dans le condenseur m'
degrés.	cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	kilog.
67,77	1.584,43	485,69	1.098,74	0,442	1.768	[illegible]
81,74	1.583,92	477,47	1.106,45	0,431	1 724	[illegible]
95,60	1.584,80	470,63	1.114,17	0,422	1.688	[illegible]
109,61	1.583,59	461,79	1 121,80	0,411	1.644	[illegible]
123,47	1.577,94	448,70	1 129,24	0,397	1.590	[illegible]
137,27	1.564,13	427,78	1.136,35	0,376	1.506	[illegible]

: $t_2 = -30°$, $m = 1^k,023$, $m'' = 0^k,147$, $\mu = 0^k,0511$.

NOMBRE de calories enlevées au condenseur et au vase d'absorption $Q_1 + Q'_1$.	NOMBRE de calories négatives disponibles Q.	NOMBRE de calories dépensées Q'.	RENDEMENT théorique. $\frac{Q}{Q'}$.	RENDEMENT théorique par kilogramme de houille brûlée. $4.000 \frac{Q}{Q'}$.	POIDS de gaz dissous par l'eau entraînée dans le condenseur m'.
cal.	cal.	cal.	cal.	cal.	kilog.
859,46	258,59	600,87	0,430	1.721	0,212
859,88	254,08	605,80	0,419	1.676	0,215
861,21	250,57	610,64	0,410	1.641	0,222
861,38	245,75	615,63	0,399	1.596	0,225
857,67	238,92	618,75	0,386	1.544	0,218
852,93	227,99	624,94	0,365	1.460	0,193

compare les nombres de ces tableaux avec ceux
on voit que le refroidissement du vase d'absorp-

tion et l'entraînement d'eau réduisent les rendements dans une proportion considérable.

On voit en outre que l'effet utile de l'appareil diminue à mesure que la température s'abaisse dans le réfrigérant, mais que le rendement reste sensiblement le même pour une même température du condenseur. Il n'en est pas de même dans les machines à action mécanique, dont le rendement diminue avec la température du réfrigérant.

§ 39. Pratiquement, dans la fabrication de la glace artificielle, on estime que le rendement varie entre 1.200 et 1.500 calories négatives par kilogramme de charbon brûlé, soit environ 80 p. 100 des chiffres ci-dessus. La différence entre le rendement théorique et le rendement pratique doit être attribuée aux refroidissements extérieurs, à l'imperfection des échangeurs de température et au travail mécanique nécessaire pour la mise en action des pompes.

Nous avons dit que les constructeurs des machines à acide sulfureux annoncent un rendement pratique de 2.500 calories par cheval et par heure. La consommation d'une bonne machine motrice étant de 2 kilog. de charbon au moins par heure et par cheval mesuré sur l'arbre, il y aurait à peu près parité, au point de vue du combustible, entre les deux machines, avec un certain écart pourtant en faveur de la machine à affinité. En outre, celle-ci a le grand avantage de fournir des températures beaucoup plus basses que la machine à acide sulfureux. On ne peut guère descendre avec cette dernière au-dessous de — 12° dans le réfrigérant, sous peine de diminuer outre mesure son effet utile, tandis que la machine à affinité donne couramment des températures de — 25° et — 30°.

Nous n'entrerons pas dans les considérations d'un ordre purement pratique et économique que soulève la comparaison des différents systèmes de production du froid, notre travail ayant uniquement pour objet d'établir les conditions théoriques de leur fonctionnement.

Note sur la détermination de la chaleur latente de vaporisation et de la chaleur spécifique de l'acide sulfureux et de l'ammoniaque liquides.

Nous avons montré au § 27 que la relation qui lie entre eux la pression, le volume spécifique et la température d'un gaz liquéfiable, étant représentée par l'équation

$$Pv = BT - CP^n, \tag{116}$$

on peut déterminer les constantes B,C et n au moyen du coefficient de dilatation et des expériences de M. Regnault sur la compressibilité des gaz.

Ces constantes sont :

	Pour l'acide sulfureux,	Pour l'ammoniaque,
B =	13,882	52,4943
C =	3,8455	43,7144
n =	0,44487	0,32685

M. Regnault a déterminé les forces élastiques de l'acide sulfureux et de l'ammoniaque liquides à diverses températures, et il a établi des formules empiriques ayant la forme :

$$\log. F = a + b\alpha^t + c\beta^t.$$

Cette forme étant peu commode pour les calculs, nous avons pris la formule empirique dite de Roche

$$P = a\alpha^{\frac{t}{1+mt}}, \tag{117}$$

et nous avons calculé les trois constantes a, α et m pour l'acide sulfureux et l'ammoniaque.

Ces constantes sont :

	Pour l'acide sulfureux,	Pour l'ammoniaque,
a =	15840	43474,64
log. a =	4,1991752	4,6382260
α =	1,04135	1,0386605
log. α =	0,0176387	0,0164736
m =	0,0043129	0,0040112

Enfin M. Regnault a trouvé pour la chaleur spécifique de l'acide sulfureux le chiffre de 0,15438, et pour celle du gaz ammoniac 0,50836.

D'un autre côté, M. Clausius a établi entre la chaleur latente r, la température absolue T, la pression P et la quantité u, la relation :

$$\frac{r}{u} = AT\frac{dP}{dt},$$

ou

$$\frac{r}{APu} = \frac{T\frac{dP}{dt}}{P}; \qquad (118)$$

u est l'augmentation de volume de l'unité de poids d'un liquide volatil qui se transforme en vapeur.

Si v est le volume spécifique de la vapeur, on a :

$$u = v - \frac{0{,}001}{\delta},$$

δ étant la densité du liquide, et par suite:

$$APu = ABT - ACP^n - \frac{0{,}001 \cdot AP}{\delta}. \qquad (119)$$

Les constantes B, C et n étant connues, cette équation donnera APu.

Connaissant APu, on aura r par la relation (118) qu'on peut écrire :

$$r = APu \cdot \frac{T}{P}\frac{dP}{dt},$$

ou, en vertu de l'équation (117):

$$r = APu \cdot \frac{T \cdot l\alpha}{(1+mt)^2}. \qquad (120)$$

L'équation (120) donnera r en fonction de T et de APu.

Enfin l'on a vu au § 27 que la quantité λ, c'est-à-dire la chaleur totale de vaporisation satisfait à la relation

$$\lambda = \lambda_0 + c_p t - \frac{AC}{n}(P^n - P_0^n).$$

A o° on a: $\lambda_0 = r_0$;

il vient donc :

$$\lambda = r_0 + c_p t - \frac{AC}{n}(P^n - P_0^n), \qquad (121)$$

équation dans laquelle P_0 représente la pression de la vapeur à o°, c_p la chaleur spécifique de la vapeur à pression constante, r_0 la chaleur latente à o°.

La chaleur du liquide $q = \lambda - r$.

ra donc :

$$q = r_0 + c_p t - \frac{AC}{n}(P^n - P_0^n) - APu \frac{T l\alpha}{(1+mt)^2}, \qquad (122)$$

aleur spécifique du liquide $c = \frac{dq}{dt}$.

juations (119), (120), (121) et (122) étant d'un calcul labo- o peut remplacer le second membre par des formules em- de la forme $A' + B't + C't^2$, dont on calcule les constantes n de trois valeurs prises aux extrémités et au milieu de thermométrique et préalablement déterminées au moyen quations.

uve ainsi,

Pour l'acide sulfureux :

$$APu = 8,243 + 0,0196t - 0,000116t^2$$
$$r = 91,396 - 0,2361t - 0,000135t^2$$
$$\lambda = 91,396 + 0,12723t - 0,000131t^2$$
$$q = 0,36333t + 0,00004t^2$$
$$c = 0,36333 + 0,00008tt$$

Pour l'ammoniaque :

$$APu = 30,154 + 0,08861t - 0,000059t^2$$
$$r = 313,63 - 0,6250t - 0,002111t^2$$
$$\lambda = 313,63 + 0,3808t - 0,000282t^2$$
$$q = 1,0058t + 0,001829t^2$$
$$c = 1,0058 + 0,003658t.$$

ileur spécifique de l'ammoniaque liquide est donc à peu le à celle de l'eau. Ce résultat, assez étonnant au premier e comprend dans une certaine mesure, si l'on réfléchit haleur spécifique du gaz ammoniac à pression constante) est supérieure à celle de la vapeur d'eau (0,4805). Il téressant de contrôler par des expériences directes ce de la théorie.

appelons d'ailleurs que les résultats obtenus pour l'ammo- le sont qu'approximatifs, car nous avons dû, pour déter- s constantes de l'équation (116) faire une hypothèse sur re qui représente le coefficient de dilatation de ce gaz, 'est pas connu.

e faciliter les calculs sur les machines à froid, nous avons s tables suivantes pour l'acide sulfureux et l'ammoniaque. ment, de 5° en 5°, la chaleur du liquide q, la chaleur totale isation λ, la chaleur latente de vaporisation r, la cha- nte interne ρ, la chaleur latente externe APu et le poids

du mètre cube de vapeur $\frac{1}{v}$, pour des températures comprises entre — 40° et + 40°.

TABLE I. — Vapeur d'acide sulfureux saturée.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades. t	TEMPÉRATURE absolue. T	PRESSION en kilog. par mètre q. P (Regnault)	CHALEUR totale. λ	CHALEUR du liquide. q	CHALEUR de vaporisation. r	CHALEUR latente externe. APu	CHALEUR latente interne. ρ	u	POIDS en kilog. d'un mètre cube de vapeur. $\frac{1}{v}$
—30	243	3.908	87.461	—10.864	98.325	7.551	90 774	0,822	1.215
—25	348	5.082	88 134	— 9.058	97.192	7.681	89.511	0,641	1.558
—20	253	6.519	88.799	— 7.251	96.050	7.805	88.245	0,507	1.967
—15	258	8.265	89.458	— 5.441	94.899	7.923	86.976	0,406	2,456
—10	263	10.366	90 111	— 3 629	93.740 (*)	8.035	85.705	0,328	3.038
— 5	268	12.874	90.757	— 1.814	92.571	8.142	84.429	0,268	3.719
0	273	15.840	91.376	0.000	91.396	8.243	83.153	0,221	4.518
5	278	19.322	92.029	1.818	90 211	8.338	81.873	0,183	5.447
10	283	23.378	92.655	3.637	89.018	8.427	80.591	0,153	6.514
15	288	28.074	93.275	5.459	87.816	8.511	79 305	0,129	7.740
20	293	33.474	93.888	7.283	86.605	8.589	78.016	0,109	9.132
25	298	39.645	94.495	9.108	85.387	8.661	76.726	0,093	10.718
30	303	46.659	95.095	10.936	84.159	8.727	75.432	0,079	12.500
35	308	54.585	95.689	12.765	82.924	8.787	74.137	0,068	14.513
40		63.496	96.276	14.597	81.679	8.841	72 838	0,057	16.750

(*) MM. Favre et Silbermann ont trouvé, par l'expérience, le nombre 94,2 pour la chaleur de vaporisation de l'acide sulfureux liquide sous la pression atmosphérique, c'est-à-dire à — 10°. Ce nombre s'éloigne très-peu de celui que donnent nos calculs.

TABLE II. — Vapeur d'ammoniaque saturée.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades. t	TEMPÉRATURE absolue. T	PRESSION en kilog. par mètre q. P (Regnault)	CHALEUR totale. λ	CHALEUR du liquide. q	CHALEUR de vaporisation. r	CHALEUR latente externe. APu	CHALEUR latente interne. ρ	u	POIDS en kilog. d'un mètre cube de vapeur. $\frac{1}{v}$
—40	233	7.187	297.967	—37.268	335.235	26.515	308.720	1,564	0,639
—35	238	9.302	299.955	—32.963	332.918	26.980	305.938	1,230	0,812
—30	243	11.918	301.952	—28.528	330.480	27.438	303.042	0,976	1,023
—25	248	15.120	303.934	—23.002	327.936	27.902	300.034	0,782	1,276
—20	253	19.003	305.901	—19.384	325.285	28.858	296.927	0,633	1,577
—15	258	23.669	307.855	—14.676	322.531	28.812	293.719	0,516	1,932
—10	263	29.225	309.794	— 9.875	319.669	29.262	290.407	0,424	2.348
— 5	268	35 797	311.719	— 4.983	316.702	29.708	286.994	0,352	2,840
0	273	43.475	313.630	0.000	313.630	30 154	283 476	0,294	3.385
5	278	52.405	315.527	5.075	310.452	30.594	279.858	0,247	4,020
10	283	62.707	317.418	10.241	307.177	31.034	276 143	0,210	4.737
15	288	74.504	319.279	15.498	303.781	31.470	272.311	0,179	5,543
20	293	87.925	321.133	20.848	300.285	31 902	268.383	0,154	6,447
25	298	103.073	322.979	26.288	296.691	32.332	264.359	0,133	7,446
30	303	120.083	324.800	31.820	292.980	32.754	269.226	0,116	8,547
35	308	139.054	326.611	37.443	289.168	33.182	255.986	0,101	9,766
40	313	160.112	328.431	43.196	285.235	33.604	251.631	0,089	11,074

Paris, le 1er avril 1878.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

CHAPITRE II.

MACHINE A AIR DE M. GIFFARD.

CHAPITRE III.

MACHINES A GAZ LIQUÉFIABLES.

CHAPITRE IV.

MACHINE A AFFINITÉ DE M. CARRÉ.

MÉMOIRE

SUR

LA PRÉPARATION MÉCANIQUE
DU MINERAI D'ÉTAIN DANS LE CORNWALL

Par M. CARCANAGUES, ingénieur des mines.

La préparation mécanique du minerai d'étain dans le district de Cornwall a été décrite avec les détails les plus précis dans un mémoire de M. l'ingénieur des mines Moissenet.

Il m'a semblé utile néanmoins de donner quelques indications nouvelles sur l'état actuel de cette préparation, attendu que depuis l'année 1857, date de ce remarquable mémoire, de nombreux changements sont survenus, qui ont modifié profondément les procédés usités à cette époque.

Une des principales nécessités de ces modifications a été l'introduction sur le marché anglais des étains d'Australie, qui font à ceux du Cornwall une concurrence que ces derniers ne soutiennent qu'au prix des plus grands efforts.

Nature du minerai du Cornwall. — Le minerai d'étain du Cornwall se présente tantôt à l'état compacte, tantôt cristallisé. Les gangues qui l'accompagnent, sont principalement le quartz, l'oxyde de fer et la chlorite. Il est généralement associé à la pyrite et au mispickel. Il faut enfin citer le *wolfram*, qui se présente quelquefois et amène alors une dépréciation considérable du minerai, la préparation étant impuissante à le chasser.

Les densités des divers minéraux qui constituent le minerai d'étain sont indiquées dans le tableau suivant (*) :

(*) Ces chiffres ont été empruntés au mémoire de M. Moissenet.

	Bioxyde d'étain. . .	6,96
	Mispickel.	6,0 à 6,4
ıères métalliques. . . .	Pyrite de fer. . . .	4,83 à 5,03
	Pyrite de cuivre. .	4,10 à 4,30
	Wolfram.	7,15 à 7,55
	Quartz.	2,65 à 2,80
ıgues proprement dites.	Chlorite.	2,65 à 2,85
	Schiste.	2,50

, comme chacun sait, des différences de densité dé-
ınt les principaux procédés de préparation mécanique, ıst facile de constater, d'après le tableau ci-dessus, que ıatières métalliques seront beaucoup plus difficiles à rer du bioxyde d'étain que les gangues proprement dites.
mispickel et la pyrite nécessiteront une opération iale et le wolfram demeurera toujours avec le minerai.

Formule générale de la préparation.

Cassage et triage à la main sur le carreau de la mine;
Bocardage;
Enrichissement des matières bocardées;
Grillage;
Traitement des matières grillées pour minerai bon à fondre.

CASSAGE ET TRIAGE A LA MAIN.

ıtte opération, qui porte le nom de *spalling*, se fait sur ırreau de la mine. Elle a pour but d'amener les blocs ıinerai à la dimension convenable pour le bocardage. s'effectue en général au marteau, et donne un produit é de morceaux ne dépassant pas la grosseur du poing. ıpuis quelque temps, on emploie beaucoup pour cette ation le broyeur américain à mâchoires, auquel on ıe pour moteur une machine spéciale, intallée sous un hangar (*mine de Dolcoath*).
ı profite naturellement de ce cassage pour séparer du mi- . une certaine quantité de stérile, qui est immédiatement ée. Le minerai cassé et trié est amené alors à l'atelier de aration proprement dit (*tin dressing floor* ou *dressing*), ıeut être établi à une certaine distance de la mine.

La disposition des ateliers de *spalling* ne présente en général aucune particularité digne d'être relatée; voici cependant un exemple intéressant : c'est celui de *Wheal Owles*, mine placée assez loin du *dressing* correspondant.

Le minerai sort du puits *xy* dans la benne W (*fig.* 1, Pl. IV), et est élevé à une certaine hauteur au-dessus du sol. Il est alors déversé sur une grille rectangulaire AB, dont les barreaux parallèles sont à un intervalle de $0^m,05$.

Le minerai menu traverse cette grille et tombe dans un wagonnet K, qui le transporte directement au *dressing;* les blocs qui n'ont pu traverser la grille, tombent sur une grande table S, qui constitue à proprement parler l'atelier du *spalling;* là, le cassage et le triage sont effectués. Le stérile est rejeté extérieurement, et on laisse tomber dans la trémie T le minerai à bocarder, que le wagonnet L conduit au *dressing*. Cette disposition ingénieuse évite, comme on le voit, l'élévation des matières et leur chargement à bras dans les wagonnets.

BOCARDAGE.

Moteurs. — Les bocards sont généralement mus par l'action de la vapeur; beaucoup d'entre eux, à une époque encore peu éloignée, marchaient sous l'action de la force hydraulique. La vapeur permet d'augmenter, dans une forte proportion, le nombre des bocards travaillant côte à côte et par suite de concentrer tout le travail de bocardage sur un même point. Il est évident que les conséquences de cette concentration sont la diminution de main-d'œuvre et la possibilité de réduire les transports de matières. On a encore l'avantage d'avoir besoin d'un terrain moins grand pour le *dressing*. On emploie pour les bocards des machines à un seul cylindre vertical et à balancier, avec distribution par soupapes. — Le tableau suivant extrait du journal *Lean's engine reporter and advertiser*, du mois d'août 1876, donne les éléments de quelques-unes de ces machines :

Ces machines sont toutes construites sur un type uniforme. Elles consomment de la houille du pays de Galles.

La supériorité plus ou moins grande de ces moteurs est intimement liée aux nombres figurant dans la colonne du tableau précédent qui porte en tête le mot *duty*. Voici quelques explications sur la signification de ce mot.

Duty. — En France, on estime fréquemment la qualité d'un moteur à vapeur, en indiquant le poids de charbon consommé par cheval et par heure. Je vais indiquer quelle relation existe entre ce nombre et le *duty*.

On peut définir le *duty*, le nombre de millions de livres (*), que la combustion d'un quintal (112 livres) de charbon permettrait à la machine d'élever à la hauteur d'un pied (**). Désignons le *duty* par N et soit x le nombre de kilogrammes consommés par cheval et par heure. Pendant le temps que dure la consommation des 112 livres de charbon, la machine effectue, en kilogrammètres, un travail égal à $N \times 1.000.000 \times 0,453 \times 0,30$.

Si a est le nombre de secondes employé à ce travail, on peut encore l'écrire :

$$a \times 75 \times F,$$

F étant la force en chevaux.

Mais il est clair qu'on a aussi la relation :

$$x = \frac{112 \times 0,453 \times 60 \times 60}{aF}.$$

En comparant cette relation à la précédente :

$$1.000.000 N \times 0,453 \times 0,30 = 75 aF,$$

on déduit :

$$1.000.000 N \times 0,453 \times 0,30 x = 75 \times 112 \times 0,453 \times 60 \times 60,$$

d'où

$$x = \frac{100,8}{N}. \qquad (a)$$

(*) La livre anglaise vaut $0^k,453$.

(**) Le pied anglais vaut $0^m,30$.

Je dois faire remarquer que le cheval-vapeur anglais n'est pas identique au nôtre. On le définit ainsi : un cheval-vapeur est la force nécessaire pour élever en une minute 33.000 livres à la hauteur d'un pied. Il est facile de constater que le cheval ainsi défini diffère du nôtre d'une quantité extrêmement faible. On a en effet, en kilogrammètres :

Travail par minute du cheval-vapeur.	anglais. . .	=	$33.000 \times 0{,}453 \times 0{,}30$
	français.. .	=	75×60

Le rapport de ces deux quantités est égal à

$$\frac{33.000 \times 0.453 \times 0{,}30}{75 \times 60} = \frac{4.484{,}70}{4.500},$$

ou bien

$$1 - \frac{1}{300}.$$

Effets utiles des machines à bocards. — Si l'on applique la formule (a) aux machines du tableau précédent, on obtient les résultats suivants :

	x = houille consommée par cheval et par heure.
Machine de Carn brea.	$2^k{,}51$
— d'Eastpool.	2 ,032
— de South Condurrow.	2 ,004

Ces chiffres correspondent manifestement à des machines d'un rendement avantageux.

Vitesse des machines à bocards. — Le tableau précédent montre que les machines à bocards donnent en moyenne 10 coups de piston par minute, ce qui correspond à 50 coups pour chaque bocard.

Les machines des bocards joignent souvent d'autres services à celui des bocards. C'est en général l'élévation de l'eau nécessaire à la marche des appareils de préparation et quelquefois aussi la mise en jeu de quelques-uns de ces appareils. La dernière colonne du tableau indique ces différents détails.

Emplacement des bocards. — On aligne les bocards sur

une ligne horizontale et on les dispose de part et d'autre du moteur en quantités à peu près égales.

Les flèches de bocards sont groupées par quatre. Chacun de ces groupes constitue un *cover*.

Description d'un cover. — Le *cover* est formé par une caisse en bois, dans laquelle arrive le minerai par la partie postérieure. Le fond de cette caisse est constitué par des schistes quartzeux qu'on a battus pendant plusieurs heures avec les bocards eux-mêmes. Le haut de la caisse est fermé, sauf quatre ouvertures qui livrent passage aux flèches.

A Eastpool, un *cover* a extérieurement les dimensions suivantes :

Longueur.	$1^m,12$
Largeur.	0 ,52

L'épaisseur des planches formant la boîte atteint $0^m,10$. L'intérieur est garni de plaques de fonte. De plus des ouvertures sont ménagées pour la sortie du minerai bocardé.

Ouvertures du cover. Exemple d'Eastpool. — Ces ouvertures sont au nombre de quatre, percées au même niveau. Deux d'entre elles sont sur la face antérieure de la boîte. Les deux autres sont sur les faces latérales. Elles sont munies de grilles métalliques, dont je reparlerai plus loin. Les ouvertures sont rectangulaires et ont horizontalement une longueur de 27 centim. sur une hauteur de 19 centim.

La grille métallique est appuyée sur les rebords intérieurs d'un cadre en fonte boulonné sur le *cover* et placé à l'intérieur (*fig.* 2, Pl. IV). Elle est serrée sur ce cadre par un autre cadre également en fonte et rentrant exacten dans l'ouverture du *cover*. Les *fig.* 3, 4 et 5 montren forme de ce second cadre. Il présente deux parties a céés sur lesquelles on pose une barre de fer qu'on boule ensuite sur le cadre intérieur.

La grille se trouve ainsi solidement fixée, et l'on a

garnir d'étoupe les différents joints, afin de les rendre ·faitement étanches.

Grilles. — Les grilles (*grates*) ont pour but de ne laisser sser le minerai bocardé, que quand il a été suffisamment lvérisé. On conçoit que le diamètre des trous de ces lles aura une grande importance pour la suite de la prération.

Les grilles sont généralement en tôle de fer; on y perce trous avec un poinçon d'acier. Par suite de ce mode de prication, il se forme de petits entonnoirs coniques, et n a soin que toutes les pointes soient d'un même côté de plaque. On les place naturellement à l'intérieur, pour iter l'obstruction des ouvertures.

Les dimensions de ces trous sont classées en 36 numéros, e l'on détermine au moyen d'un calibre (*gauge*). Ce carre n'est pas autre chose qu'une tige de fer conique de ^{m},152 de longueur sur un diamètre de 6^{mm},3 à la base. La longueur totale est divisée en 36 parties égales. Le 1 correspond à la base et le n° 36 à la division qui vient nmédiatement avant le sommet du cône (*fig.* 6, Pl. IV).

Si d est, en millimètres, le diamètre du trou pour le uméro n, on a évidemment :

$$\frac{d}{6,3} = \frac{36 - n + 1}{36},$$

où

$$d = 6,3 \times \frac{36 - n + 1}{36}.$$

A Eastpool, on emploie le n° 34 et par suite $d = 6,3 \times$ $\frac{}{5} = 0^{mm},5$.

Nous avons vu précédemment de quelle façon les grilles aient fixées au *cover*.

Plancher des bocards. — Devant la ligne des bocards est abli un plancher (*saver*), sur lequel les matières bocarées, entraînées par un courant d'eau, arrivent à leur sortie

des *covers*. Ce plancher ne joue aucun rôle dans la préparation mécanique. Il est simplement destiné à servir d'intermédiaire entre les bocards et les appareils subséquents. Il devra donc avoir une pente suffisante pour que le minerai ne puisse s'y arrêter.

A Eastpool, la pente est de 15 p. 100 et la largeur du plancher est $2^m,90$.

Ici se trouve terminée la description de la partie fixe de l'atelier des bocards. Je vais maintenant décrire le bocard lui-même, c'est-à-dire la masse mobile qui effectue la pulvérisation.

Bocard. — Un bocard est formé par une tête pesante fixée à l'extrémité d'une longue tige, nommée flèche, qui porte un mentonnet destiné à recevoir le mouvement des cames d'un arbre spécial.

Tête. — La tête (*head*), destinée à frapper directement le minerai, est en fonte.

A Eastpool, ses dimensions sont les suivantes, quand elle est neuve :

Hauteur.	$0^m,60$
Base.	$0\ ,28$ sur $0^m,16$

ce qui donne un poids de 190 kilog.

A Treleighwood, la base a $0^m,26$ sur $0^m,16$.

La hauteur de la tête est d'ailleurs un élément variant rapidement par l'usure, et l'on ne considère une tête de bocard comme hors de service, que quand cette hauteur est réduite à 20 ou 30 centimètres.

Les quatre têtes de bocards, correspondant à un même *cover*, sont disposées de façon à avoir leurs grands côtés perpendiculaires à la longueur de ce *cover*.

Flèche. — La flèche (*lifter*) est une tige en fer forgé à section retangulaire. On la fixe à la tête lors de la coulée de celle-ci. Pour assurer leur union, l'extrémité de la flèche

été fendue en quatre parties que l'on a écartées, et l'on
coulé la tête autour de ces parties.

A Eastpool, les flèches ont $3^{m},50$ de longueur et une secon de 75 millimètres sur 37. La grande dimension de la ection est placée parallèlement à l'alignement des bocards.

A Treleighwood, les flèches ont 4 mètres de longueur et $^{m},090$ sur $0^{m},050$ de section.

Le poids d'une flèche d'Eastpool atteint environ 75 kilog.

Mentonnet (*tongue*). — Le mentonnet M représenté *ig.* 7 et 8, Pl. IV), est fixé à la flèche au moyen d'un oin en fer forcé à coups de marteau. La came vient agir ous la face inférieure dans la partie MN.

Cames. — Les cames sont fixées sur un arbre creux, en nte, dont le diamètre a généralement une valeur de $0^{m},70$.

Pour un mentonnet, on compte cinq cames distribuées égulièrement sur une circonférence. La *fig.* 7 est une proection sur un plan perpendiculaire à l'arbre. Elle montre . forme de la came, qui, théoriquement, doit être celle 'une développante de cercle. La came pénètre de $0^{m},10$ ans l'arbre et est fixée au moyen d'un coin en bois. On oit, d'agrès la *fig.* 9, que la partie postérieure ne pénètre u'en partie dans l'arbre. La *fig.* 10 est une vue postérieure e la came. Les cames sont en fonte; elles se brisent fréuemment dès qu'un obstacle s'oppose à leur mouvement.

Liaison des arbres à cames. — Les *covers* sont réunis en énéral par groupes de quatre, formant un *set*. Une poron de l'arbre à camos correspond à chaque *set*. Je vais ndiquer comment sont réunies entre elles les différentes ortions de l'arbre.

Les deux extrémités de chacune d'entre elles sont muies d'une pièce oblongue en fonte, ayant la forme d'une ouble manivelle (*fig.* 11, Pl. IV).

La liaison de ces plateaux se fait au moyen de boulons t peut s'établir ou se supprimer avec la plus grande facité (*fig.* 12, Pl. IV).

Liaison avec l'arbre moteur. — Ce procédé ne s'applique pas au point de jonction de l'arbre moteur et du premier arbre à cames. On tient en effet à remplir cette condition, que les arbres à cames ne tournent que si l'arbre moteur tourne lui-même dans un sens déterminé. Si la rotation se produisait en sens inverse et que les cames y prissent part, on conçoit en effet que toutes seraient infailliblement brisées par la résistance des mentonnets. Or ce mouvement inverse pourrait être dû à une fausse manœuvre du machiniste et j'ajouterai même qu'on le produit avec intention, quand on veut faire fonctionner la machine sans les bocards, particulièrement pour l'épuisement.

Pour remplir ces conditions, l'arbre moteur est terminé par un plateau circulaire muni d'un déclic à ressort (*fig.* 13, Pl. IV). Celui-ci entraîne dans son mouvement la roue à rochet faisant corps avec l'arbre à cames, quand l'arbre moteur tourne dans un certain sens; quand le mouvement est inverse, le déclic glisse sur les dents de la roue à rochet et ne communique aucun mouvement aux cames.

Travail des bocards. — Le minerai, contenu dans des trémies, descend, par son poids et aussi sous l'action d'un courant d'eau, dans le *cover* dans lequel il pénètre par une ouverture pratiquée sur la face postérieure.

Le minerai arrive donc sous les têtes des pilons avec une certaine quantité d'eau dont partie vient avec lui, le reste arrivant isolément par un canal en planches. Cette seconde partie est à peu près équivalente à la première. C'est l'épuisement qui fournit à cette dépense d'eau.

A Eastpool, pour un *cover*, l'eau est débitée par une ouverture circulaire de $0^m,034$ de diamètre. Le niveau de l'eau dans le canal est constant et à $0^m,150$ au-dessus du centre de l'orifice. On peut en conclure pour le débit par minute environ

$$60 \times \sqrt{2gh} \times s,$$

s étant la section, c'est-à-dire :

$$60 \times \sqrt{2 \times 98{,}088 \times 1{,}5} \times \pi \times \overline{0{,}17}^2 \text{ litres,}$$

ou 90 à 95 litres.

Il faut doubler, et l'on a :

Par cover.	180 litres
Par flèche.	45

Chaque flèche donne 5 coups par tour de l'arbre, environ 50 par minute.

On a soin de disposer les cames sur l'arbre, de manière à ce que les 4 têtes ne frappent point simultanément. Cette précaution diminue la violence des chocs, qui sont si préjudiciables à la conservation de l'appareil.

Si l'on suppose la surface de l'arbre à cames développée suivant un rectangle ABCD (*fig.* 14, Pl. IV), les cames seront disposées comme le montre la figure et frapperont dans l'ordre des numéros inscrits à côté de chacune d'entre elles. Les distances entre les génératrices correspondant aux cames 1, 2, 3, 4, ayant été prises égales, les coups se succéderont à intervalles égaux de $\frac{1}{200}$ de minute. J'ajouterai, pour terminer, que la levée des flèches varie entre 0m,220 et 0m,225, comme l'indique le tableau de la page 212.

Personnel. — Un seul ouvrier suffit au service des bocards d'un même atelier; son travail consiste à remplacer les grilles hors de service et à faire les réparations courantes. Il est payé à raison de 3f,50 par journée de 12 heures. A la machine qui fonctionne jour et nuit pour l'épuisement, il y a un mécanicien travaillant 8 heures, ce qui nécessite 3 hommes pour ce service.

Consommation de houille. — Les chiffres de la consommation de houille sont donnés par le tableau de la page 212. Mais il faut remarquer que ces nombres comprennent aussi la consommation nécessitée par l'épuisement, l'élévation de matières, etc.

Cependant à Carnbrea, la machine n'est utilisée que pour le service des bocards, et l'on a le résultat suivant :

En 28 jours, on a brûlé 101 tonnes de houille pour 440.000 coups de piston, la machine mettant en mouvement 80 têtes de bocards.

Par bocard et pour 24 heures, on trouve, d'après ce tableau, une consommation de 44 kilog. Il faut réduire un peu ce chiffre, eu égard aux 19 *round-buddles* que la machine met également en jeu; mais le résultat restera néanmoins supérieur à celui donné par M. Moissenet ($\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{12}$ du poids du bocard). On peut expliquer cette différence en remarquant que M. Moissenet prend 45,5 pour le *duty*, tandis que ce chiffre est en réalité trop élevé. On n'a pas affaire ici, en effet, à une machine consacrée à l'épuisement, ou même à l'épuisement concurremment avec le service des bocards, et ceci explique la valeur inférieure du *duty*, car les chocs répétés mettent la machine dans des conditions difficiles de marche économique.

DEUXIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.

Traitement du minerai depuis la sortie des bocards jusqu'au grillage.

APPAREILS EMPLOYÉS.

Avant de donner la marche des opérations, je décrirai les divers appareils employés dans cette série d'opérations. Ce sont les suivants :

1° Les *canaux* ou *stripes*;
2° Les *round-buddles;*
3° Les *cuves* ou *kieves*;
4° Les *frames;*
5° Comme appareils accessoires, les *slime-pits.*

Enfin je terminerai en disant un mot d'un nouvel appareil actuellement à l'essai et nommé le *Frue vanning*.

CANAUX (*stripes*).

1° *Canaux attenant aux bocards.* — Dans la grande majorité des ateliers de préparation, le minerai bocardé, après avoir franchi le plancher (*saver*), arrive dans des canaux présentant la disposition suivante : ces canaux sont adjacents l'un à l'autre et placés perpendiculairement à la ligne des bocards. A chaque *set* de 4 *covers* correspondent généralement 10 à 12 canaux d'une longueur de 12 à 13 mètres.

Les figures 15 et 16 (Pl. IV) donnent une idée de la disposition employée à Eastpool. Le minerai bocardé arrive par l'ouverture *a* (*fig.* 16) et se dépose dans le canal, dont la pente est très-faible. Les eaux chargées de boues (*slimes*), s'échappent en *b* et se réunissent dans une rigole R, qui les conduit à d'autres appareils. Les canaux sont en planches de $0^m,05$ d'épaisseur. Ils ont une largeur de $0^m.42$ et une profondeur de $0^m,35$. L'ouverture *a* peut être fermée au moyen d'une planchette en bois que l'on installe quand le canal est plein et qu'on désire le vider.

Comment se fait le dépôt dans cet appareil? A l'origine, une molécule de matière, plongée dans une nappe d'eau, glissera sur le fond du canal. La force d'entraînement de l'eau luttera contre le frottement, et l'on sait que dans ce cas l'ordre de dépôt obéira à la formule $l(\delta - 1)$, l caractérisant la dimension et δ le poids spécifique.

Donc en tête se déposeront l'étain et les gros fragments de gangue. Puis le dépôt sera de plus en plus pauvre, et l'eau entraînera définitivement la gangue fine avec du minerai extrêmement ténu.

Après ce premier phénomène, la loi du dépôt changera un peu, car la surface du fond deviendra celle du premier

dépôt. Il en résultera surtout que de fines particules resteront emprisonnées entre les gros fragments, alors qu'elles auraient dû être entraînées plus loin.

Quand le canal est rempli, le chef de l'atelier de préparation (*captain*) fait fermer la porte *a* et divise le dépôt en 3 parties, dont il détermine la longueur d'après l'aspect et en faisant des essais à la pelle (*vanning*). La tête (*head*) est la partie la plus riche. Au milieu sont les *crazes*, et à l'extrémité les queues (*tails*), qui sont pauvres. Enfin l'eau entraîne les boues (*slimes*), traitées à nouveau plus loin. La tête est en général prise sur une longueur de 1^m,50 à 2 mètres.

L'essai à la pelle ou *vanning*, dont nous avons parlé tout à l'heure, joue un grand rôle dans la préparation mécanique du minerai d'étain dans le Cornwal. C'est par son emploi que le *captain* peut diviser les dépôts dans tous les appareils et vérifier le bon fonctionnement de chacun d'eux. Cet essai se fait avec une pelle ordinaire. On produit, avec un peu d'eau et par des mouvements convenables, un débourbage et une véritable préparation. L'étain oxydé se réunit sur un point et permet de juger de la richesse du dépôt sur lequel on opère.

2° *Long stripes.* — On désigne sous ce nom de longs canaux en bois dans lesquels on fait arriver des sables généralement très-pauvres. On leur donne une pente suffisante. Toute la matière non déposée s'en va à la rivière et est définitivement abandonnée. Le dépôt, recueilli, va de nouveau aux bocards et de là rentre dans la circulation commune sous le nom de *roughs* (*). Ces canaux, généralement jumeaux pour la commodité du travail, ont de 30 à 40 mètres de longueur et 0^m,45 à 0^m,50 de largeur.

ROUND-BUDDLE.

Le *round-buddle* est l'appareil principal de cette série

(*) *Roughs* se dit par opposition à *slimes*.

d'opérations. Il a actuellement remplacé complétement le caisson (*square buddle*, *tin case*, etc.). Les ateliers qui, autrefois, n'en contenaient que 2 ou 3, en possèdent maintenant de 30 à 50. Aussi en donnerai-je une description détailllée.

Un *round-buddle* se compose essentiellement d'une table conique sur laquelle s'écoule une nappe d'eau chargée de la matière à enrichir. On distingue deux espèces de round-buddles, l'écoulement pouvant se faire du centre à la circonférence ou inversement.

1° *Round-buddle convexe.* — C'est celui pour lequel l'écoulement se fait du centre à la circonférence. Il est le plus ancien et tend beaucoup maintenant à être remplacé par l'autre variété.

Cet appareil se compose d'une table conique en bois, au centre de laquelle est placé le chevet distributeur (*fig.* 17, Pl. IV). Au sommet de celui-ci est une crapaudine, dans laquelle vient s'engager le tourillon d'un appareil mobile, que je décrirai sommairement. C'est un axe vertical en fer traversant une cuvette fixée à son extrémité inférieure. L'eau chargée de minerai se rend par une rigole dans cette cuvette et s'en échappe par un certain nombre d'orifices pratiqués dans la paroi. A Tincroft, les orifices, au nombre de douze, sont munis d'ajutages, qui amènent la boue métallique à $0^{m},30$ du bord du chevet distributeur.

On donne à l'axe et par suite à la cuvette un mouvement lent de rotation au moyen d'un système convenable de roues dentées. Le dépôt s'effectue sur la table conique dont la pente est faible, et est constamment égalisé par des balais tournants qui en lèchent la surface. (Voir pour les détails la description du round-buddle concave.) L'eau et les boues non déposées s'échappent par des ouvertures ménagées dans la paroi verticale extérieure du bassin et se rendent là où on le veut.

Les dimensions de ces appareils sont variables.

A Tincroft, le chevet distributeur a 1^m,75 de rayon et la table 3^m,50. La pente du chevet est forte, celle de la table est d'environ 15 à 17 p. 100. L'axe fait 3 à 4 tours par minute.

A Wheal-Owles, le captain Boyns a établi un de ces appareils dans des proportions gigantesques. Il lui a donné 15 mètres de diamètre. Cet appareil fontionne fort bien au dire des propriétaires de cette mine, qui en sont très-fiers.

2° *Round-buddle concave.* — Voici la description d'un des appareils de ce genre, de l'atelier d'Eastpool :

Le diamètre de la cuve est de 5^m,05 (*fig.* 18) et la pente du cône concave est de 17 p. 100 ($\frac{1}{6}$ environ). On a disposé autour de ce plancher de bois un rebord presque vertical, présentant à sa partie supérieure une portion rentrante, sorte de tore à méridienne rectangulaire. Au centre de la cuve se trouve un manchon en fonte, percé d'ouvertures disposées en hélice. Le diamètre de ce manchon est égal à 0^m,70 et la hauteur AB est de 0^m,30.

Comme dans l'appareil précédent, l'eau est amenée dans une cuvette animée d'un mouvement de rotation. Dans ce but, une longue tige verticale en fer est dressée au centre du round-buddle. Son extrémité inférieure repose dans une crapaudine ménagée dans une barre formant un diamètre de la base supérieure du manchon de fonte. L'extrémité supérieure est maintenue dans le chevalement qui soutient l'appareil de transmission. Ce dernier, ainsi que le chevalement, est représenté par la *fig.* 19.

L'axe A court le long d'une série d'appareils analogues disposés en ligne droite. Les roues d'angle M, M', N, N', communiquent le mouvement à l'axe en fer. Un levier, permettant de déplacer légèrement la roue N sur son axe, donne la faculté de supprimer toute participation au mouvement de l'axe A.

La hauteur du bâti est de 1^m,80. La cuvette tournante

est en fonte et traversée par l'axe. Son fond est à $0^m,65$ au-dessus du manchon de fonte. Elle est percée de six ouvertures latérales, munies d'ajutages venus de fonte avec elle (*fig.* 20). Un canal en bois, hémicylindrique, se lie à chaque ajutage au moyen d'un étrier. Ces canaux, tournant avec la cuvette, conduisent le liquide jusqu'à la rigole pratiquée à la partie supérieure de la paroi externe du bassin. L'eau perd là sa force vive et s'écoule dans la grande cuve. On évite ainsi les éclaboussures que produirait le choc du liquide sur une paroi normale à la direction de son mouvement. Le dépôt se fait sur la table conique concave et l'eau, avec la matière non déposée, s'échappe par les ouvertures pratiquées dans le manchon de fonte.

On perfectionne beaucoup la régularité du dépôt en le balayant continuellement. Dans ce but, des perches de bois, participant au mouvement de rotation, soutiennent de petits balais en bruyère ou quelquefois des lambeaux d'étoffe qui lèchent la surface du dépôt. Les perches sont fixées à la cuvette mobile, qui porte trois appendices creux, sans aucune communication, bien entendu, avec l'intérieur de la cuvette. Comme le dépôt s'accroît constamment, il est nécessaire que les balais puissent être élevés en même temps que le niveau de celui-ci; ils sont pour cela suspendus à de petits treuils fixés aux perches.

La partie centrale, par laquelle s'échappent les eaux et les matières non déposées, consiste en une cuve cylindrique en bois (*fig.* 21). Le fond en est formé par un plateau circulaire en bois, qui soutient des tasseaux *t* uniformément répartis sur toute la circonférence et sur lesquels reposent, et le manchon de fonte, et le plancher même du *round-buddle*. Par l'ouverture M arrive de l'eau pure, amenée par un canal souterrain. Cette eau ne fait que traverser la cuve avec une grande vitesse. Elle s'échappe par une seconde ouverture placée vis-à-vis, entraînant avec elle les matières en excès, auxquelles elle ne permet point de se déposer.

Ces canaux souterrains conduisent généralement à la rivière ou aux *long stripes ;* quelquefois cependant les eaux qu'ils entraînent contiennent encore des boues trop riches pour être abandonnées, et on les amène dans des bassins de dépôt.

Chargement du round-buddle. — Il peut arriver que l'eau chargée de matières arrive d'une grande distancedi - rectement à l'appareil. Mais généralement le minerai à traiter est, à l'avance, disposé en tas près du round-buddle, et une fille le charge à la pelle dans une auge prismatique sous un courant d'eau.

Les *fig.* 22 et 23 représentent le dispositif le plus commun. L'eau pure arrive par une rigole A, percée de trous. La matière chargée en B, se désagrège sous son action, est entraînée et traverse un tamis C, qui retient les impuretés. Puis le canal D la conduit à la cuvette mobile. L'extrémité du canal D se bifurque pour enfourcher l'axe vertical du round-buddle et l'eau s'écoule par des orifices pratiqués au fond des deux branches. L'auge est formée simplement par deux planches clouées à angle droit.

Cet appareil de chargement est aussi celui que l'on emploie pour les round-buddles convexes.

Comment classe un round-buddle. — Le round-buddle, qu'il soit concave ou convexe, n'est qu'une dérivation du caisson, qu'on employait autrefois sous le nom de *square-buddle*; ce caisson était une caisse rectangulaire en planches, à fond incliné, et à laquelle on fournissait le minerai à la partie supérieure.

Or, qu'on suppose une infinité de caissons très-étroits, rayonnant autour d'un point et l'on aura le round-buddle. Suivant que les chevets distributeurs auront été placés au centre ou à la circonférence, on aura le round-buddle convexe ou le round-buddle concave. Les propriétés de classement du caisson et du round-buddle seront donc à peu près les mêmes, ils classeront suivant la *gleichfælligkeit*,

c'est-à-dire d'après le produit $l(\delta - 1)$. Le minerai enrichi se déposera à la partie supérieure, avec du mispickel et de la pyrite, et naturellement tout le wolfram. Ce mélange constituera la tête (*head*). On trouvera au milieu les *crazes*, dont la richesse est de même ordre que celle de la matière qu'on passe à l'appareil lui-même; et enfin les *queues* ou *tails* seront formées par la gangue pierreuse avec une certaine proportion d'étain fin, entraîné à cause de la dimension des grains ou par suite de l'adhérence à la gangue.

La principale différence du caisson et du round-buddle provient de la conicité de ce dernier. Dans le round-buddle convexe, l'eau possède une très-grande vitesse près du centre, et a une marche très-ralentie vers la circonférence. Il en résulte une tête peu nette; des parties riches pourront être entraînées trop loin. C'est l'inverse qui se produit avec le round-buddle concave; l'eau a une vitesse très-faible à la tête; mais au centre elle devient torrentielle, et une molécule d'étain oxydé qui sera allée trop loin sera à jamais perdue. Le manchon en fonte percé de trous, a pour effet d'atténuer cet inconvénient majeur. Les avis sont encore partagés sur la question de savoir quel est le meilleur des deux appareils. L'opinion générale penche cependant pour le round-buddle concave. Celui-ci donne en effet une tête nette et étroite, attendu que la bande riche se dépose à la base du cône. Il peut en outre, dans le même temps, passer une plus grande quantité de matière; d'où une économie de temps et de main-d'œuvre. L'appareil convexe travaille moins nettement, mais il donne lieu à des pertes plus faibles, vu la lenteur de l'eau à la sortie.

Travail du round-buddle.— La matière à enrichir forme un tas, auquel puise la fille, qui charge avec régularité l'appareil représenté *fig.* 24. Cette régularité est essentielle, attendu que si, à un moment quelconque, le courant d'eau arrivait sans être chargé de matière solide, il

aurait bientôt raviné le dépôt déjà existant et entraîné une forte quantité d'étain, d'où il résulterait une perte définitive. Le travail est terminé en six heures, et on a passé 15 à 20 tonnes. Le captain partage alors le dépôt en deux ou trois couronnes, en faisant au besoin quelques *vannings* (essais à la pelle), et l'appareil rotatoire lui-même trace les cercles de séparation. On décharge à la pelle. En général les têtes sont traitées à un buddle voisin, les *crazes* repassent au même appareil et les queues sont rejetées dans la cuve centrale, où le courant les entraîne, soit à la rivière, soit aux *long stripes* et quelquefois dans des *slime-pits* (bassins de dépôt).

L'entretien d'eau des round-buddles doit être réglé avec la plus grande attention. L'excès d'eau amène le ravinement, le défaut contraire produit un dépôt trop rapide à la tête. On reconnaît que l'appareil fonctionne dans de bonnes conditions, quand la surface est conique et bien unie.

J'ai mesuré l'entretien d'eau d'un round-buddle concave, analogue à celui qui a été décrit et qui fonctionnait bien. J'ai trouvé 140 litres par minute ; M. Moissenet indique un chiffre beaucoup plus faible ; mais c'est, il est vrai, pour un appareil convexe.

Les round-buddles ont une vitesse de rotation variant peu autour de 5 tours par minute.

Chacun d'eux comporte un gamin ou une fille, chargé du chargement. Le salaire d'une fille est de $0^f,80$ par jour, celui d'un gamin varie de $0^f,60$ à $2^f,50$; mais pour le travail dont il s'agit, on donne des salaires fort peu élevés.

CUVES (*kieves*).

La cuve (kieve) est employée pour obtenir le produit riche bon à fondre ; on y traite les riches des autres appareils.

L'opération consiste en un débourbage violent, suivi

d'une période de dépôt, pendant laquelle on frappe de petits coups secs sur la cuve.

Le dépôt se fait suivant la loi déjà indiquée de *gleichfælligkeit*, c'est-à-dire, pour chaque grain, d'après le produit l (δ — 1), l caractérisant le volume par une de ses dimensions et δ étant la densité du grain. Il en résulte que, dans la cuve, au fond se trouvera l'étain, vu sa grande densité, avec les autres métaux en proportion variable; les gangues resteront à la partie supérieure, sauf toutefois certains morceaux, dont les dimensions atteindront une certaine valeur.

Description d'une cuve. — Les cuves sont en bois, leur forme est celle d'un tronc de cône, dont la petite base forme le fond. En voici les dimensions.

	Hauteur.	Diamètre supérieur.
Eastpool.	$0^m,75$	$0^m,98$
Tincroft.	0 ,80	1 ,10

La conicité est toujours peu prononcée.

Le *packing* est l'opération qui consiste, au moyen de petits coups secs, à favoriser la netteté du dépôt, en imprimant de légères vibrations à la masse liquide contenue dans la cuve. Le *packing* se fait tantôt à la main, tantôt mécaniquement.

1er Cas (*Eastpool, West Seton, etc.*). — Un gamin se tient debout près de la cuve et saisit un bâton dont il fixe une extrémité entre ses deux pieds. Prenant alors ce bâton à deux mains, il en frappe la cuve à petits coups redoublés. Un tampon de bois, fixé à la cuve, reçoit les chocs.

2e Cas. *Exemple de Dolcoath.* — Les cuves de Dolcoath ont une hauteur de 1 mètre et un diamètre supérieur de $0^m,80$.

Les chocs sont donnés par deux petits marteaux, qui empruntent leur mouvement à un arbre horizontal au moyen d'un dispositif représenté par les *fig.* 24 et 25.

L'arbre communique, au moyen d'un excentrique à

cadre, un mouvement de va-et-vient à la tige MN. Celle-ci est munie de deux bagues *b*, qui rencontrent un taquet et le font mouvoir successivement à droite et à gauche. Il en résulte pour la tige *a* et les marteaux des déplacements qui produisent les chocs.

Exemple de Tincroft (*fig.* 26 et 27, Pl. IV). — A Tincroft, il n'y a qu'un marteau par cuve. Il reçoit un mouvement d'oscillation d'un arbre B, qui peut tourner d'un petit angle. A ce même arbre B sont également fixés un mentonnet *m* et un contrepoids P, susceptible de se mouvoir sur une tige.

L'arbre à cames A communique au mentonnet *m* une série d'impulsions, à chacune desquelles correspond un choc du marteau, que le poids P ramène à sa position première.

Travail à la cuve. — Le travail comprend deux périodes: l'agitation et le dépôt.

L'agitation, produisant le débourbage, se fait généralement à la pelle. Dans quelques ateliers, elle est produite mécaniquement. Voici l'appareil employé à Tincroft. L'agitateur est en fer (*fig.* 28, Pl. IV). Les deux palettes A, placées à angle droit, sont boulonnées sur une tige, qui présente une cavité à son extrémité inférieure. Cette cavité permet à la tige de reposer sur un pivot fixé au fond de la cuve et de prendre un mouvement de rotation.

La *fig.* 29 montre comment le mouvement de l'arbre A se communique à l'extrémité supérieure de l'agitateur, qui est coiffée par la cavité prismatique C. En manœuvrant le levier L, on est libre d'enlever l'agitateur quand il a terminé son office, après avoir toutefois désembrayé les roues d'angle R. Le travail est alors le suivant : la cuve étant vide, le gamin fixe l'agitateur et remplit d'eau jusqu'à mi-hauteur. Il donne alors le mouvement et remplit peu à peu de minerai à la pelle, en ayant bien soin de verser celui-ci le long des parois. Ce remplissage est fait par le gamin et

l'ouvrier simultanément. On arrête le mouvement quand veau arrive à $0^m,07$ ou $0^m,08$ du bord ; on enlève l'agi-ır et l'on fait marcher le marteau.

est la seconde période qui commence. Elle dure trois ts d'heure. Le marteau est ensuite arrêté par son sou-nent sur une tringle, qui met la came dans l'impossi-ɔ d'agir. On décante avec un seau à manche, puis à uiller. On achève d'enlever l'eau claire, en creusant un dans le dépôt. L'eau en excès s'y réunit et devient e à puiser. Le dépôt est déchargé à la pelle. On ne fait ıralement que deux catégories :

Le *top*, ou partie supérieure, et 2° le *bottom* ou fond, est très-enrichi.

ı emploie aussi, dans beaucoup d'ateliers et pour du ɔrai déjà très-riche, des cuves inclinées, donnant une ace très-restreinte de dépôt au fond et, par suite, ame-. une hauteur plus grande pour le *bottom*.

n appelle *tozing* l'opération conduite à la cuve droite, *iimming* celle à la cuve penchée.

n ouvrier est chargé de deux cuves ; on emploie en e quelques gamins pour le remplissage et le *packing* main.

FRAMES.

es frames s'emploient dans le traitement des *slimes* ıssières fines). Elles sont essentiellement formées d'une e en bois légèrement inclinée, sur laquelle on fait couler natière à traiter, mise en suspension dans l'eau. Les ies riches s'arrêtent sur cette table ; et quand on juge la quantité déposée est suffisante, on l'entraîne dans un al spécial au moyen d'un courant d'eau rapide qu'on e sur la frame. La loi qui préside au dépôt est donc e de l'écoulement sur une surface solide (voir le *round-dle*). Je vais indiquer maintenant quelle est la disposi-. des appareils :

1° La frame à main (*handframe*) se rencontre encore sur beaucoup d'ateliers. C'est une table en bois dont l'inclinaison atteint 15 p. 100. Sa longueur est de $2^m,10$ dans le sens de la pente, et sa largeur est de $1^m,80$.

Le canal A (*fig.* 30, Pl. IV) amène les eaux boueuses, qui sont distribuées par de petits tasseaux de bois égalisant la nappe. Pendant le dépôt, de l'eau pure, amenée par le canal B (*fig.* 21, Pl. IV), remplit une rigole C régnant sur toute la largeur de la table.

Quand le dépôt est jugé suffisant, et que, par suite d'un retard, il y aurait perte de minerai enrichi, on fait basculer la rigole C en tirant sur la barre M dans le sens de la flèche. L'eau pure se répand sur la table, et la *lavée* entraîne le minerai enrichi dans le canal D ; on remarquera que le mouvement de la barre a fait prendre à la planchette *ab*, mobile autour de l'axe *o*, une position verticale qui force la lavée à suivre le trajet indiqué plus haut ; pendant le dépôt, au contraire, la planchette fait suite à la table, et les eaux appauvries s'en vont par le canal E.

A Eastpool, on place 3 tables à la suite l'une de l'autre, suivant la pente ; chacune d'elles a sa rigole C', ses canaux D et E et sa planchette *ab*.

2° *Self acting frame*, ou frame à mouvement automatique. Dans le *self acting frame*, la rigole C bascule d'elle-même au moment voulu. Dans ce but, une augette (*fig.* 32) est fixée à cette rigole. Son poids et sa position sont convenablement déterminés. La rigole C ayant basculé par l'effet même de l'eau contenue, l'augette est amenée par ce mouvement sous l'orifice du canal B. Elle bascule à son tour quand elle est pleine et ramène la rigole à sa position première, où celle-ci se remplit de nouveau.

A Treleighwood, la rigole se remplit en 50 secondes et l'augette en 8.

La main-d'œuvre des frames est très-faible. Une fille peut conduire 2 frames à main ou 12 *self acting frames*.

Frue vanning machine(*). — Ce nouvel appareil, que l'on essaye à West-Seton, est formé par un rouleau de caoutchouc sans fin, dont la face supérieure, légèrement inclinée, a un mouvement lent de remontée. Les eaux boueuses sont distribuées vers la partie supérieure. Les parties riches sont entraînées en haut et les pauvres vers le bas. On obtient de cette façon la continuité du travail, qu'on rend plus net par des oscillations rapides données transversalement.

D'après le dire des industriels qui l'ont essayée, cette machine travaille bien, mais à trop de frais. Une expérimentation plus prolongée semble nécessaire pour donner une juste appréciation de sa valeur économique.

SLIME-PITS.

On désigne sous ce nom les bassins de dépôt des eaux boueuses provenant d'un point quelconque de l'atelier. Leurs dimensions varient beaucoup. On les vide généralement à la pelle, et le dépôt est traité dans des appareils convenables.

A Dolcoath, et pour de très-grands bassins, on fait tomber sur le dépôt une pluie d'eau, qui le désagrége et l'entraîne dans un canal à forte pente qui le conduit à l'appareil voulu. Un ingénieux dispositif permet de faire tomber cette pluie en un point arbitraire. On emploie à cet effet un chariot roulant sur deux longrines, qui encadrent le bassin. La veine liquide se résout en pluie, en rencontrant un pavé de bois suspendu sur sa route.

Ici se termine la description des appareils permettant d'amener le minerai à la richesse voulue pour le grillage.

Pour faire comprendre le roulement des matières pendant cette série d'opérations, je prendrai un exemple particulier, celui d'Eastpool, très-propre à cette description.

(*) On trouvera des détails sur cet appareil dans le *Mining Journal* du 29 juillet 1876. Voir aussi *Annales des mines*, 1er vol. de 1878, p. 174.

ATELIER D'EASTPOOL.

L'atelier d'Eastpool possède 64 têtes de bocard, dont 16 sont placées d'un côté de la machine à vapeur et 48 de l'autre (*fig.* 33).

J'étudierai specialement la marche du minerai qui, après le *spalling*, est pulvérisé par les 48 bocards de gauche.

Le minerai bocardé va d'abord aux *stripes*, qui fournissent quatre catégories :

1° les têtes ou *heads*, allant au round-buddle n° 2 ;

2° les *crazes*, traitées au round-buddle n° 1 ;

3° les queues ou *tails*, enmenées au round-buddle n° 7 ;

et 4° les boues très-fines entraînées jusqu'aux *slime-pits a*.

Il faut maintenant pour suivre ces quatre catégories dans leur marche complexe, se reporter au tableau annexé ci-après, dans lequel chaque catégorie de matière est désignée par une lettre spéciale.

On y fera cette observation générale qu'une série de round-buddles comporte un fonctionnement analogue à celui d'une batterie de cuves de *patinsonnage ;* c'est ainsi que les têtes des *stripes* vont au buddle n° 2 et les *crazes* au buddle n° 1, et qu'ensuite les têtes du n° 1 repassent au n° 2. Très-généralement les *crazes* d'un round-buddle repassent au même appareil. L'enrichissement progressif des matières les amène enfin à être propres au traitement à la cuve dont les fonds sont bons à griller (*fit for burning*). Les *tops* des cuves sont de nouveau enrichis au round-buddle et reviennent ainsi aux cuves.

Les trois catégories A, B, C, du tableau donnent lieu seulement, comme on peut le voir, à des fonds de cuve, bons à griller, et à des stériles abandonnés. Ces derniers sont des queues de round-buddles, entraînées à la rivière par le courant d'eau central. Quant aux boues déposées dans les bassins *a*, elles sont traitées aux frames, puis aux buddles, retournant ainsi au roulement général.

Atelier d'Eastpool.

Tableau de la marche des matières jusqu'au premier grillage.

- BOCARDS ou STAMPS. Les matières bocardées vont aux stripes qui donnent
  - HEADS A.... vont au buddle n° 2.
    - HEADS E.... vont au buddle n° 3.
      - HEADS K.... vont à la cuve.
        - BOTTOMS bon à griller.
        - TOPS M.... vont au buddle n° 9.
          - HEADS L.... vont au buddle n° 10.
            - HEADS K vont aux cuves. Voir plus haut.
            - CRAZES repassent au même.
            - TAILS rejetées.
          - CRAZES repassent au même.
          - TAILS rejetées.
      - CRAZES A vont au buddle n° 2. Voir plus haut.
      - TAILS .... vont au buddle n° 4.
        - HEADS E vont au buddle n° 3. Voir plus haut.
        - CRAZES E idem.
        - TAILS F Voir plus haut. Vont aux long stripes.
    - CRAZES repassent au même.
    - TAILS F vont aux long stripes.
      - Les dépôts de ceux-ci sont recueillis à la partie supérieure et renvoyés aux bocards.
  - CRAZES B.... vont au buddle n° 1.
    - HEADS A vont au buddle n° 2. Voir plus haut.
    - CRAZES repassent au même.
    - TAILS F vont aux long stripes Voir plus haut.
  - TAILS C.... vont au buddle n° 7.
    - HEADS G.... vont au buddle n° 8.
      - HEADS E vont au buddle n° 3. Voir plus haut.
      - CRAZES repassent au même.
      - TAILS rejetées.
    - CRAZES repassent au même.
    - TAILS rejetées.
  - EAUX BOUEUSES D. vont aux slimes-pits *a*.
    - SLIMES déposées H. vont aux frames.
      - EAUX RICHES déposent en *d*; le dépôt C va au buddle n° 7. Voir plus haut.
      - EAUX BOUEUSES I vont aux slime-pits *b*; voir plus haut.
    - EAUX BOUEUSES I vont aux slime-pits *b*; le dépôt va aux buddles 13, 14, R; les dernières eaux sont abandonnées.
      - HEADS N.... vont aux buddles n°s 15 et 16.
        - HEADS bon à griller.
        - CRAZES repassent au même.
        - TAILS rejetées.
      - TAILS rejetées.

NOTA.
- *Head* signifie tête.
- *Craze* — moyen.
- *Tail* — queue.
- *Bottom* — fond.
- *Top* — partie supérieure.

2° *Exemple de West Seton.* — Une certaine partie de la préparation est spécialement bien traitée à West Seton. Sur cet atelier toutes les eaux de la préparation se réunissent dans un canal et arrivent jusqu'à un étage inférieur. Elles contiennent alors les *slimes* en totalité, avec une certaine quantité de *roughs* (le mot *rough* s'emploie en opposition à *slime*). C'est le traitement de ces eaux que je vais décrire.

Une porte mobile est disposée à l'extrémité du canal d'amenée. Les *roughs* se tenant généralement au fond, les boues passent seules, quand la porte est fermée; les eaux passent alors par-dessus celles-ci. Si au contraire on ouvre, pendant un petit intervalle de temps, la porte, les *roughs* sont entraînés en totalité et avec eux une petite quantité seulement de *slimes*, vu le peu de durée de cette manœuvre. Il en résulte un moyen fort simple de séparer les *slimes* des *roughs*.

1° *Traitement des roughs. Porte ouverte.* — Les eaux vont aux bassins B et C (*fig.* 34). Le dépôt est traité au round-buddle. On enrichit les têtes, et les queues sont bocardées à nouveau.

2° *Traitement des slimes. Porte fermée.* — Les eaux vont aux canaux A et de là aux bassins D. En A se dépose le plus gros, qui est passé au round-buddle et devient bon à griller après quatre enrichissements successifs. Les queues vont aux bassins G. En D, le dépôt est très-fin; on le traite aux *self acting frames*, puis aux *frames* à main. Les eaux pauvres vont aux canaux G, et le riche est encore passé au round-buddle; après plusieurs enrichissements, le minerai va au grillage. Le dépôt du bassin G retourne aux bocards et de là rentre dans le roulement général.

GRILLAGE.

Le grillage est la quatrième opération de la formule générale de la préparation. Il a pour but de débarrasser le

ırai du soufre et de l'arsenic, provenant des pyrites e ıispickel.

ıs fours de grillage sont de formes diverses. On emploie quefois des fours à réverbère, mais on s'est généralet arrêté aux fours à sole tournante. Cette sole est mise ommunication avec un moteur hydraulique de trèse puissance, par un engrenage, qui rend le mouvement lent. Le minerai cru est amené au centre par une ıie; et après le grillage, le déchargement se fait natument à la circonférence.

Treleighwood, on emploie des fours à reverbère, dont ıle est un carré de $2^m,40$ de côté; la chauffe, également ;, a $0^m,75$ de côté. On consomme 150 kilog. de charbon tonne de minerai.

Dolcoath, on emploie 4 fours à sole tournante (*rotary s*); celle-ci a 10 mètres de diamètre. La vitesse de tion est d'un peu plus d'un tour à l'heure. La cha- est fournie, pour chaque four, par deux chauffes de o sur $0^m,50$.

ı recueille généralement l'arsenic dans des chambres osées sur le passage des fumées.

Eastpool, où on passe au bocard environ 60 tonnes jour, on recueille 10 tonnes d'arsenic brut par semaine, l'on vend à raison de 130 francs la tonne.

ı wolfram n'est pas altéré par le grillage. Le procédé ınd (*), essayé naguère, a été abandonné, parce qu'il ıit pas assez rémunérateur. On a renoncé actuellement asser le wolfram et on se contente d'un triage soigné main. Malheureusement la valeur du minerai est de ıcoup diminuée par la présence du tungstène.

TRAITEMENT DU MINERAI GRILLÉ.

xemple d'Eastpool. — Le round-buddle et la cuve sont

Voyez le mémoire de M. Moissenet, p. 75.

seuls employés dans cette nouvelle série d'opérations. Les têtes des round-buddles vont aux cuves quand elles ont été suffisamment enrichies. Les *bottoms* de ces cuves sont grillés de nouveau et les *tops* repassent encore au round-buddle et rentrent dans le courant précédent. Les queues de certains round-buddles sont formées de grains trop gros pour continuer à être traitées, leur richesse ne permet cependant pas de les renvoyer aux bocards qui traitent le tout-venant de la mine. A Eastpool, on les réduit en poussière au moyen d'un moulin (*pulverizer*), que je décrirai plus loin.

Après le second grillage, effectué dans les fours B (*fig.* 33), on traite encore au round-buddle, puis à la cuve. Les *bottoms* repassent à la cuve inclinée (opération du *Chimming*), et, en dernier lieu, les fonds de ces cuves inclinées sont bons à fondre, c'est le *black tin* (étain noir).

La marche des matières est indiquée clairement par les deux tableaux suivants (page 240).

C'est la fin de la préparation. On peut constater que, à l'époque actuelle, le round-buddle et la cuve sont presque seuls employés dans l'enrichissement du minerai bocardé. L'aspect des ateliers a complétement changé depuis une quinzaine d'années : il y a là un grand progrès, tant pour l'économie de la main-d'œuvre que pour la netteté et la régularité de l'enrichissement du minerai.

TABLEAU N° 2.

Après le 1er grillage les matières vont au Round-Buddle n° 22. A.

- B. Heads. . . à la cuve.
  - Bottom, calciné une deuxième fois.
  - Top D. . . . . va au Round-Buddle n° 21.
    - Heads E. . . . au Round-Buddle n° 23.
      - Heads G. . . . vont à la cuve.
        - Bottom, calciné une deuxième f
        - Top E, voir plus ha
      - Crazes, retournent au même.
      - Tails H. . . . vont aux R.-Buddles nos 26 et 27.
        - Head B, voir plus ha
        - Crazes, au même.
        - Tails I, au pulvériseur. Voir la march à l'appendice.
    - Crazes, repassent au même.
    - Tails F, ... vont au buddle n° 25.
      - Heads H, voyez plus haut.
      - Tails I, au pulvériseur.
- Crazes, retournent au même.
- C. Tails, vont au Round-Buddle n° 24.
  - Heads A, voir plus haut.
  - Crazes, retournent au même.
  - Tails I, voir plus haut.

Atelier d'Eastpool.

Tableau de la marche des matières entre le 1er et le 2e grillages.

TARLEAU N° 3.

Après le 2e grillage les matières vont au Round-Buddle n° 18.

- Heads et Crazes. . . . . vont à la cuve et suivent une marche analogue.
  - Bottom. . . . . enrichissements successifs au Round-Buddle. La tête définitive va au chimming.
    - Bottom. bon à fondre.
    - Top, enrichi au Round-Buddle.
  - Top, au Round-buddle n° 20.
- Tails. Marche analogue à celle des Heads et Crazes.

Observations. — Les produits intermédiaires sont enrichis au Round-Buddle jusqu'à ce que le captain les juge propres à être passées au chimming.

Atelier d'Eastpool.

Tableau de la marche des matières depuis le 2e grillage.

APPENDICE.

DESCRIPTION DU PULVERIZER D'EASTPOOL.

Le *pulverizer*, à Eastpool, est destiné à réduire en poussière très-fine certains *roughs* riches que l'on rencontre dans le lavage du minerai grillé. C'est un véritable moulin composé d'une cuve en fonte et d'une meule animée d'un mouvement rotatoire.

La cuve est légèrement tronconique. Sa profondeur est de 0^m,45 avec un diamètre supérieur de 1^m,40 et un rebord de 0^m,05 de largeur. Sur le fond de cette cuve est fixée une large couronne bien dressée, en fonte, destinée à former la partie fixe du moulin (*fig.* 35, Pl. IV).

La meule mobile est formée par six semelles de fonte solidement fixées à une roue horizontale, animée d'un mouvement rapide (*fig.* 36, Pl. IV).

Les espaces *a*, *a*, *a* sont des évidements pratiquées dans la roue; *b*, *b* sont des ouvertures rectangulaires dont la section *xy* est représentée au-dessous. Chaque semelle (*fig.* 37, Pl. IV) se fixe dans une ouverture *b* avec un coin de bois.

La roue est mise en mouvement au moyen des transmissions que fait suffisamment comprendre la *fig.* 38. La roue H, qui reçoit un mouvement lent, met en action un trommel que nous retrouverons.

Le minerai pulvérisé s'échappe par six fenêtres percées dans la paroi de la cuve et munies de grilles comme les fenêtres des boîtes des bocards. Les trous de ces grilles n'ont pas de numéro à cause de leur petitesse. La toile métallique est prise entre la cuve et un cadre de fonte dont la *fig.* 39 indique la disposition.

Dans un nouveau modèle actuellement en construction et comportant huit fenêtres, on emploie un système plus simple. Le cadre porte simplement deux oreilles qui sont directement boulonnées sur la cuve (*fig.* 40).

La *fig.* 41 indique la disposition générale en plan et élévation du petit atelier dépendant du *pulverizer*. La légende de cette figure est la suivante :

M matière à pulvériser;
I plan incliné;
T trémie;
t trommel;
N impuretés provenant du classement du trommel;
P pulvériseur;
BB round-buddles;
K canal;
CC cuves.

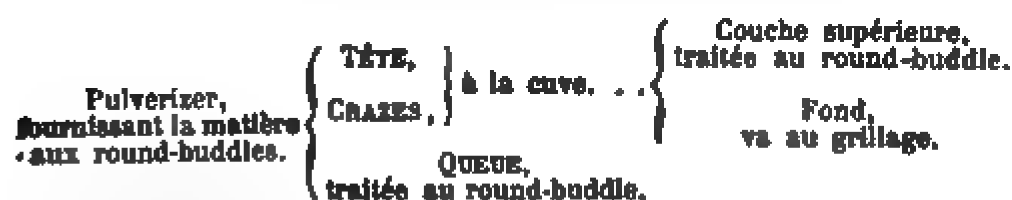
Trémie. — La trémie est en planches; elle a 1m,20 de hauteur. .es bases sont carrées; la base supérieure a 1m,60 de côté, la base .férieure 0m,60. La matière arrive par une glissoire I, qui a la ême largeur que la trémie, et s'échappe par une ouverture P *g.* 42). Un canal *m* amène l'eau qui sort avec la matière à pulvé- .ser. Un axe en fer, portant des couteaux et animé d'un mouve- .ent rotatoire, contribue à la régularité du débit de la trémie.

Trommel. — Le trommel, en fils de laiton croisés, a une lon- .ieur de 0m,75 sur un diamètre de 0m,375. Le quadrillage, formé .r les fils de laiton, a 0m,006 de côté. Le but de ce trommel est .mplement de débarrasser la matière des impuretés qu'elle a pu .iiiiiier.

Round-buddles. — Les round-buddles sont à fond plat et dé- .urvus de balais rotatifs. Ils fonctionnent alternativement et se .mplissent en dix heures environ. Leur diamètre est de 2m,40 avec .e profondeur de 0m,35.

Personnel. — Un ouvrier et un gamin aux round-buddles et aux .ves et un gamin à la trémie suffisent aux opérations de ce petit .elier.

La marche des matières est indiquée par le tableau suivant :



Les eaux vont déposer dans un *slime-pit* dont le dépôt est traité . round-buddle.

Un pulvériseur coûte environ 600 francs; il exige pour être mis . mouvement une force de 7 à 8 chevaux; il traite dans ces con- .tions 10 à 12 tonnes de minerai en 24 heures.

A Eastpool, on est complétement satisfait de cet appareil qui .nne d'excellents résultats.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES FIGURES DE LA PL. IV.

ÉCHELLES.

millim.		
3	par mètre. . .	fig. 16 et 17.
5	id. . . .	fig. 22 et 23.
10	id. . . .	fig. 17, 18, 19, 30, 31 et 42.
15	id. . . .	fig. 35, 36 et 37.
20	id. . . .	fig. 13 et 21.
30	id. . . .	fig. 28 et 29.
40	id. . . .	fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 24, 25, 26 et 27.
50	id. . . .	39 et 40.

24 février.	Lavoir, rue Ernest, 3, à Paris.	Chaudière cylindrique de 3 mètres de longueur et 1m,05 de diamètre traversée par 20 tubes en cuivre de 90 millim. de diamètre extérieur.	Lc	Dégâts matériels peu importants.	Manque d'eau. Tous les appareils de sûreté et notamment ceux qui devaient servir à indiquer le niveau de l'eau étaient hors de service.
16 avril.	Usine à fer de Messempré (Ardennes).	Chaudière chauffée par les flammes perdues d'un four à souder. Corps cylindrique horizontal de 6m,68 de longueur et de 1 mètre de diamètre, 2 bouilleurs inférieurs de 6m,35 de longueur sur 0m,50 de diamètre.	Lc	Sur dix ouvriers brûlés par l'eau bouillante et la vapeur, six ont succombé aux suites de leurs blessures. Dégâts matériels peu importants.	Ui ... étal s de it de nar-
(Voir une note sur cet accident dans le 1er volume de 1876, p. 201.)					
4 mai.	Scierie de marbres et de bois, à Saint-Omer (Pas-de-Calais).	Cl	E:	ouvriers brûlés morts des suites ces blessures. ouvrier blessé un éclat de que. Dégâts maels très-peu imtants.	M
24 mai.	Carrière de calcaire-marbre du Bois-Jourdan, commune de Bouère (Mayenne).	Cl	Je	re légère déle.	D

		Re
[illegible] juin.	Moulin à blé et à ciment, à Aubagne (Bouches-du-Rhône).	Ch
7 juillet.	Fabrique d'objets en carton laqué, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).	Cl
31 juillet.	Confiserie, à Mirecourt (Vosges).	D
11 août.	Battage de blé, à Saint-Albain (Saône-et-Loire).	C

[illegible]	[illegible] tel (Côte-d'Or).	[illegible] ures s'est du foyer . La tôle vait plus paisseur.	Mécanicien [illegible] ment brûlé. Fourneau détruit.	Corrosion [illegible] bouilleurs exposés à des inondations périodiques. La chaudière était installée depuis dix-huit ans. Si on l'avait quelquefois visitée, on aurait reconnu l'amincissement.
20 septemb.	Distillerie, à Saultain (Nord).	sont pro- rtie infé- fonds.	Contre-maître tué sur le coup. Chauffeur mort des suites de ses blessures. Deux ouvriers blessés. Voûtes démolies. Toiture détruite.	Diminution d'épaisseur de la tôle corrodée par l'acide qu'on y versait habituellement.
26 octobre.	Bateau-pompeur n° 3, port de Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).	gauche ant deux horizon- comprise lignes a le supé- ersée en e la nais- à droite, irants et plaques	Mécanicien, chauffeur et un matelot tués.	L'explosion est due à la forme de la partie rentrante qui tendait à se développer en dehors sous la pression de la vapeur, et à l'insuffisance des tirants adaptés pour atténuer cet inconvénient.
31 octobre.	Fabrique de sucre, à Flavigny - le - Petit (Aisne).	, le tube- suivant e de l'a- sur une 30 de la ique; la	Chauffeur mort des suites de ses blessures. Pas de dégâts matériels.	A.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS.
1° Par nature d'établissements :			
Usines à fer	3	10	12
Fabriques de sucre	2	3	1
Blanchisseries	2	»	»
Minoteries	2	1	1
Battages de blé	2	3	6
Bateaux	2	4	»
Scierie	1	2	1
Filature	1	1	»
Distillerie	1	2	2
Confiserie	1	»	1
Papeterie	1	7	4
Fabrique de phares	1	1	»
Fabrique d'objets laqués	1	2	2
Brasserie	1	4	2
Epuisement de carrière	1	»	»
Totaux	22	40	32 (*)
2° Par espèce d'appareils :			
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : horizontales avec ou sans bouilleurs	8	7	4
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : tubulaires avec ou sans bouilleurs	2	2	1
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : verticales	3	10	12
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : sphérique (double fond)	1	»	1
CHAUDIÈRES avec foyer intérieur : horizontales	2	1	4
CHAUDIÈRES avec foyer intérieur : verticale	1	3	2
CHAUDIÈRES avec foyer intérieur : de bateaux	2	4	»
RÉCIPIENTS	3	13	8
Totaux	22	40	32 (*)
3° D'après les causes :			
Conditions défectueuses de construction :			
Mauvaises dispositions	3	10	4
Conditions défectueuses d'entretien :			
Usure	6	10	12
Corrosion extérieure	2	10	9
Mauvais emploi des appareils :			
Manque d'eau	9	7	5
Causes restées inconnues	2	3	2
Totaux	22	40	32 (*)

(*) En sus des 32 blessés, il y en a quelques-uns dont le nombre n'a pu être connu.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. ADOLPHE BARRÉ,

INGÉNIEUR AU CORPS DES MINES,

Par M. G. BRESSON, ancien élève de l'École des mines,
Ingénieur à la Société autrichienne des chemins de fer de l'État.

Le corps des mines, si cruellement éprouvé dans ces rnières années, vient de faire une nouvelle perte. Cette s, c'est parmi les ingénieurs français qui occupent à tranger une position importante, et savent par leurs ntes connaissances et la distinction de leur esprit conérir la double estime de leur pays natal et du pays qu'ils bitent, que la mort est venue frapper. Elle a enlevé Adolphe Barré, décédé à l'âge de 39 ans, à Vienne, où emplissait depuis plusieurs années les fonctions de diteur des mines, usines et domaines de la société autrienne des chemins de fer de l'État.

Adolphe Barré était né à Troyes, le 26 avril 1838; son re, obligé par ses fonctions à de fréquents déplacements, ifia l'éducation de l'enfant à sa grand'mère qui habitait rs Haguenau, et ce fut sur cette terre d'Alsace, si riche nobles cœurs, que l'enfant fit ses premiers pas. Ce fut ısi là qu'il commença ses études et qu'il apprit, en me temps que le latin, l'allemand dont la connaissance vait lui être très-utile un jour. M. Barré ayant été nommé ofesseur à l'École forestière de Nancy, son fils, rappelé ès de lui, continua au Lycée de cette ville ses études iversitaires dans lesquelles il obtint les plus brillants ccès, couronnés par sa réception à l'École polytechnique premier rang de la promotion de 1857. Le pas décisif it fait; il ne restait plus à cette heureuse nature qu'à se

développer sans efforts, pour produire les plus beaux fruits du cœur et de l'esprit.

De même que par un concours de circonstances favorables, le jeune Barré avait pu, dès son enfance, associer aux premières études classiques, celles d'une langue étrangère, il pouvait aujourd'hui consacrer ses loisirs de vacances à recueillir de la bouche d'un père un nouvel et non moins précieux enseignement ; les collections de l'École forestière s'ouvraient devant le jeune polytechnicien ; il y puisait le goût des sciences naturelles ; il s'y familiarisait avec les procédés de culture et d'exploitation des forêts, et se préparait ainsi à devenir un des ingénieurs les plus complets qu'on pût voir. Ces études, qu'il faisait alors sans y prendre garde, devaient aussi, dans un avenir prochain, contribuer au succès de sa carrière.

Le temps passé à l'École des mines ne devait laisser à Barré que de bons et joyeux souvenirs. Quel esprit, tant soit peu avide d'apprendre, ne subirait, en effet, le charme de cet enseignement si varié, où les considérations théoriques de l'ordre le plus élevé s'unissent intimement à la pratique d'arts qui emploient pour les buts les plus utiles les plus brillants procédés. Les leçons qu'il avait reçues de ses savants professeurs étaient restées profondément gravées dans sa mémoire ; il aimait à s'en souvenir, à en parler avec ceux qui, comme lui, avaient été leurs élèves ; il savait à propos invoquer leur témoignage, dans un pays qui compte aussi dans diverses branches de l'exploitation des mines et de la métallurgie des ingénieurs éminents. Mieux que personne il était fait pour discerner le bien en toutes choses, et résumer en lui l'expérience de ses illustres devanciers.

De tous les goûts qui sont le privilége de la jeunesse, celui des voyages était chez Barré particulièrement développé. Enfant encore, il parcourait à pied la Suisse entière et sa santé acquérait au milieu de ces fatigues une vigueur qui paraissait inépuisable. A l'École des mines il ne pouvait

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	SUITES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
		Corps cylindrique : longueur : 1m,25 ; diamètre : 0m,88 et 0m,66. Foyer : longueur : 1m,25 ; diamètre : ... diamètre : ... de chauffe ... e consti- ... e en cuivre ... 14 de dia- ... ns le foyer. Timbré : 7 atmosph.	lard du foyer arraché. ... ite à ... r in- ... e in- ... vant ... de la ... pais- ... rer a ... sains ... qu'à ... à la partie inférieure.		faite à la suite de réparation partielle à la chau- ... e mar- ... supé- ... l'avait, paraît-il, la chaudière avant l'explosion.
11 août.	Bateau remorqueur l'*Hirondelle*, à Paris.	Corps cylindrique de 2m,34 ... m,68 de ... de re- ... ayant ... Les tubes sont en laiton étiré sans soudure.	Cinq minutes après la fin de ... ube de ... re s'est ... isé en ... frag- ... cassure cristalline sans déformation.	Chauffeur brûlé mortellement.	Manque d'eau et, par suite, chauffage de tubes non baignés extérieurement.
11 août.	Filature de lin, à Barentin (Seine-Inférieure).	Corps cylindrique à fonds plats de 6m,20 de longueur et 1m,40 de diamètre avec 2 bouilleurs inférieurs. 2 bouilleurs la- ... tenus par aucun tirant.	Quelques instants après la ... peur.	Un chauffeur atteint par la vapeur et mort des suites de ses brûlures. Pas de dégâts matériels.	Efforts longitudinaux auxquels étaient soumis les tubes dans le corps cylindrique terminé par deux faces planes de grand diamètre qui n'étaient soutenues par aucun tirant. Cette disposition constitue un vice grave de construction révélé par deux ruptures de tubes, au moins, survenues depuis l'établissement de l'appareil.
9 septemb.	Locomobile, à Marville-Moutiers-Brûlé (Eure-et-Loir).	Chaudière verticale. (On n'a aucun détail sur sa construction.)	Explosion violente. La chaudière a été réduite en fragments projetés de tous [illegible]	Le chauffeur, un ouvrier et un enfant tués. Deux personnes blessées. [illegible]	Soupapes calées et alimentation irrégulière.

	tel (Côte-d'Or).	feu, un des bouilleurs s'est déchiré au-dessus du foyer sur 0m,40 de long. La tôle en cet endroit n'avait plus que 4 millim. d'épaisseur.	ment brûlé. Fourneau détruit.	bouilleurs exposés à des inondations périodiques. La chaudière était installée depuis dix-huit ans. Si on l'avait quelquefois visitée, on aurait reconnu l'amincissement.
20 septemb.	Distillerie, à Saultain (Nord).	es déchirures se sont produites dans la partie inférieure et dans les fonds.	Contre-maître tué sur le coup. Chauffeur mort des suites de ses blessures. Deux ouvriers blessés. Voûtes démolies. Toiture détruite.	Diminution d'épaisseur de la tôle corrodée par l'acide qu'on y versait habituellement.
26 octobre.	Bateau-pompeur n° 3, port de Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).	upture sur le flanc gauche à peu près suivant deux lignes de rivures horizontales; la paroi comprise entre ces deux lignes a disparu; la partie supérieure s'est renversée en tournant autour de la naissance du cylindre à droite, en rompant ses tirants et ses attaches aux plaques tubulaires.	Mécanicien, chauffeur et un matelot tués.	L'explosion est due à la forme de la partie rentrante qui tendait à se développer en dehors sous la pression de la vapeur, et à l'insuffisance des tirants adaptés pour atténuer cet inconvénient.
31 octobre.	Fabrique de sucre, à Flavigny-le-Peti (Aisne).	la chaudière n° 2, le tube-foyer s'est fendu suivant une arête voisine de l'arête supérieure sur une longueur de 2m,30 de la partie tronc-conique; la	Chauffeur mort des suites de ses blessures. Pas de dégâts matériels.	Abaissement du niveau de l'eau; le sommet du foyer intérieur a été soumis à une température excessive; dans cet état, il s'est écrasé sous la pression

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	SUITES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
		$0^m,75$ de diamètre se terminant par une partie cylindrique de $0^m,75$ de diamètre. Capacité : 13 mètres cubes. Surface de chauffe : 49^{m2}. Timbre : 5 kilog.	virole suivante s'est déchirée suivant sa clouure transversale et fendue sur $0^m,80$ de longueur.		extérieure. Abaissement ar un trop dans l'ali- it par un l'eau dans une chaudière voisine, par une fausse manœuvre, vu l'absence de clapets de retenue. La chaudière n'avait pas son tube indicateur de niveau.
8 novemb.	Forges et aciéries de Firminy (Loire).	Chaudière verticale chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer et d'un four à puddler. Hauteur : $11^m,50$. Diamètre : $1^m,10$. Timbre : 5 kilog.	Rupture dans la deuxième virole en montant : d'abord le long d'une ligne de rivé une ouverture de plus de 1 mètre de largeur. La tôle présentait la coloration du fer chauffé au rouge et refroidi à l'air.	Trois ouvriers blessés. Dégâts matériels.	La chaudière s'était vidée pendant la nuit précédente. On a cru le manque d'eau moins considérable et on a alimenté ; les parois rougies ont cédé facilement à une pression ordinaire.
19 novemb.	Papeterie de Monfourat, commune des Eglisottes (Gironde).	Cylindre horizontal à fonds bombés. Longueur, $3^m,80$. Diamètre, $1^m,60$. Epaisseur de la tôle, 10 millimètres. 2 trous d'homme avec autoclaves. Rotation autour de l'axe. Introduction de la vapeur par un des tourillons.	Les fonds ont été projetés ; le cylindre s'est ouvert sur toute sa longeur suivant une génératrice en pleine tôle, passant près d'une des bouches d'autoclaves. Autour de la collerette qui garnissait ces bouches, on a remarqué un sillon ne laissant à la tôle que 1/2 ou 3/4 de centimètre d'é- [illegible]	Sept personnes tuées parmi lesquelles le propriétaire. 4 autres blessées. Dégâts matériels considérables.	Vétusté et mauvais état de l'appareil après un service de plus de 20 ans sans épreuve pour la pression de marche.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS
1° Par nature d'établissements :			
Usines à fer	3	10	12
Fabriques de sucre	2	3	1
Blanchisseries	2	»	»
Minoteries	2	1	1
Battages de blé	2	[illegible]	6
Bateaux	2	4	»
Scierie	1	2	1
Filature	1	1	»
Distillerie	1	2	2
Confiserie	1	»	1
Papeterie	1	7	4
Fabrique de phares	1	1	»
Fabrique d'objets laqués	1	2	2
Brasserie	1	4	2
Épuisement de carrière	1	»	»
Totaux	22	40	32 (*)
2° Par espèce d'appareils :			
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : horizontales avec ou sans bouilleurs	8	7	4
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : tubulaires avec ou sans bouilleurs	2	2	1
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : verticales	3	10	12
CHAUDIÈRES sans foyer intérieur : sphérique (double fond)	1	»	1
CHAUDIÈRES avec foyer intérieur : horizontales	2	1	4
CHAUDIÈRES avec foyer intérieur : verticale	1	3	2
CHAUDIÈRES avec foyer intérieur : de bateaux	2	4	»
RÉCIPIENTS	3	13	6
Totaux	22	40	[illegible] (*)
3° D'après les causes :			
Conditions défectueuses de construction :			
Mauvaises dispositions	3	10	4
Conditions défectueuses d'entretien :			
Usure	6	10	12
Corrosion extérieure	2	10	9
Mauvais emploi des appareils :			
Manque d'eau	9	7	5
Causes restées inconnues	2	3	2
Totaux	22	40	32 (*)

(*) En sus des 32 blessés, il y en a quelques-uns dont le nombre n'a pu être connu.

bleau de ces domaines de la Société autrichienne, sur le développement desquels Barré devait exercer, dès son entrée au service, une si heureuse influence. Les houillères de Kladno avec leur puissante couche de houille de 12 mètres, les ateliers de construction de Vienne, les houillères de Steyerdorf, de Doman et de Szekul, les riches mines de fer magnétique de Moravitza et de Dognacska, les forges de Reschitza et de l'Anina, tout cela a été plus d'une fois décrit. Il y a là des exploitations considérables à diriger dans les voies du progrès, des fabrications variées à surveiller et à conduire, mais à cette tâche l'ingénieur suffit; et comment toutes les qualités de l'ingénieur n'auraient-elles point existé chez Barré avec l'excellente préparation qu'il avait reçue? Il faut pour administrer les domaines de la Société autrichienne des connaissances plus vastes encore ou plutôt, comme on ne saurait les posséder toutes, en abordant ce service si varié, il faut vouloir et savoir se remettre à l'école pour les acquérir. Il faut devenir forestier, si comme Barré on ne l'est déjà, pour contrôler les plans d'aménagement et de culture des 90.000 hectares de forêts, que la Société possède sur les versants des montagnes du Banat; agronome pour augmenter le rendement des nombreuses terres qu'elle exploite en régie ou qu'elle afferme aux paysans de ses villages; grands moulins à vapeur, fabriques de paraffine, d'huiles minérales, d'acide sulfurique, de ciment, autant de nouveaux sujets d'examen. Puis quand on connaît le détail de toutes ces choses, c'est sur les hommes et leurs institutions qu'il faut reporter son étude. Par les droits et les charges du patronat, que la Société exerce sur les domaines, elle se trouve nécessairement mêlée à toutes les questions du culte et de l'enseignement dans le royaume de Hongrie; par sa situation de grand propriétaire foncier, elle a son mot à dire dans le règlement de toutes les affaires administratives du Comitat dans lequel les domaines sont situés; ses employés font

partie des assemblées politiques qui y siégent, il faut inspirer leur conduite, diriger leurs efforts, en sachant concilier en toutes choses les intérêts privés de la Société avec ceux qui l'entourent. Si l'on ajoute à ces difficultés celles résultant de la diversité des langues, des races et des coutumes on pourra se faire une idée des horizons qui s'ouvrent aux regards d'un nouveau venu.

Barré possédait mieux que personne les qualités nécessaires pour sortir victorieux de l'épreuve qui se présentait à lui. Le poste qu'il avait occupé dans la Moselle mettait hors de doute sa compétence, pour traiter les questions techniques les plus ardues. Dès son premier voyage, les mineurs de la Bohême et du Banat le reçoivent comme un des leurs; c'est en effet sur les mines de houille que, pour nous servir d'une expression qui peint son caractère ardent, il se jette d'abord; il passe plusieurs semaines à Steyerdorf pour étudier le bassin depuis ses affleurements jusqu'aux étages les plus profonds, et bientôt les failles qui, depuis de longues années déroutent la patience du mineur, n'ont plus de secrets pour lui. Il assigne à chaque puits sa destination, en ordonne l'approfondissement rapide et, grâce à son initiative et au zèle du personnel encouragé par lui, la mine traverse, sans trop en souffrir, une période difficile rendue plus critique encore par un incendie qui, éclatant à l'improviste, oblige à noyer le champ d'exploitation de deux puits importants.

A Kladno, l'heureuse impulsion qu'il donne à ce qu'il touche se fait également sentir. Un nouveau puits, qui porte aujourd'hui son nom, est fondé sous sa direction et muni des machines les plus perfectionnées; en même temps s'introduisent des améliorations parmi lesquelles il faut citer l'emploi de l'air comprimé pour les travaux au rocher et pour l'exploitation de parties de couches en vallée au moyen de machines établies dans la mine, l'installation de tractions mécaniques par chaîne flottante reliant

puits à l'autre, l'usage habilement étudié des vieux ; en fer pour le muraillement des accrochages et des ries. Certes ce serait être injuste à l'égard du brave onnel de Brandeisl, pour lequel Barré avait la plus ıde estime, que de ne pas lui laisser une part du mérite es travaux, mais pour aucun d'eux l'œil du maître n'a ınutile et ses conseils étaient si bons à entendre, il les nait avec tant de bienveillance, que tous étaient heu- : de les lui demander.

n ingénieur qui avait eu ses entrées dans les usines de ange, de Styring et d'Ars-sur-Moselle, ne pouvait man- r d'apporter des lumières nouvelles dans l'exploitation hauts-fourneaux et des forges du Banat. Toutefois casion ne lui était pas donnée d'exercer sur ces branches service une action aussi directe. Les établissements allurgiques de Reschitza, objet de tous les soins du vernement, jusqu'au jour où il les avait cédés à la So- ; autrichienne en même temps qu'une partie de ses nins de fer, avaient été maintenus par celle-ci à la eur de tous les progrès nouveaux. Dès 1867 un atelier emer possédant des cornues de 10 tonnes y avait été allé ; l'année suivante la construction d'une nouvelle e destinée spécialement au travail de l'acier, et ren- ıant entre autres appareils un laminoir à bandages sans lure était commencée. Mais si Barré devait trouver ici esogne préparée, avec quelle ardeur ne se mit-il pas à études, nouvelles alors pour tout le monde et dans uelles il voulait regagner le temps perdu ; il apportait recherche des caractères et des propriétés de l'acier zèle infatigable ; l'Exposition de 1873 à Vienne, un nd voyage en Angleterre qu'il fit à cette époque d'a- les utiles instructions de M. Le Châtelier, avaient été lui l'occasion vivement désirée de continuer les études s dans les usines de la Société. « Je compte bien dre un mois, nous disait-il au commencement de cette

année, pour aller étudier l'acier à l'Exposition de 1878. » Hélas! quelques jours après, il partait pour Neuberg, guidé toujours par l'amour de l'étude; il voulait y examiner l'emploi combiné de la cornue Bessemer et du four Martin pour obtenir des aciers de qualité, et c'est peut-être devant le bain de métal fondu que l'a saisi la pneumonie qui devait le conduire si rapidement au tombeau.

Dans une grande situation industrielle comme celle que Barré occupait, le temps qu'on peut donner aux études techniques constitue en quelque sorte les loisirs; ce qui absorbe c'est le souci des affaires, ce sont les soins à donner aux intérêts financiers dont on a la garde, c'est le service commercial en un mot. Dès son entrée en fonctions Barré en avait compris l'importance; les employés de ce service trouvaient à toute heure du jour accès auprès de lui, il les encourageait dans leurs efforts, apportait dans ces questions délicates un jugement sûr, un coup d'œil presque infaillible. Lors de ses débuts, tout était facile; l'Autriche-Hongrie se trouvait alors au point culminant de cette période trop prospère qui s'est étendue de 1867 à 1873, et pendant laquelle le pays tout entier paraissait en proie à une fièvre d'entreprises; les usines encore peu nombreuses étaient surchargées de commandes, on avait à se préoccuper alors non point de leur assurer du travail, mais de le faire payer à son plus haut prix. L'horizon devait bientôt s'assombrir, et si dans les dernières années les usines de la Société conservèrent, par rapport aux établissements concurrents, une situation relativement favorable, c'est à l'activité commerciale de leur chef, aux efforts faits par lui pour leur procurer des débouchés nouveaux, qu'on doit en partie l'attribuer. Ce sont là des talents moins communs qu'on ne le pense, et faute desquels plus d'un peut-être aurait échoué.

Des établissements qui emploient 15.000 ouvriers ne peuvent être administrés sans un nombreux personnel. A

iété autrichienne, la situation de ce personnel est
dans tous ses détails par des instructions mûrement
:s, et grâce à l'excellent esprit qui règne dans cette
entreprise, les chefs peuvent compter sur le dé-
ent de leurs subordonnés, comme ceux-ci peuvent
r sur leur appui; il faut néanmoins se préoccuper
r la balance égale entre tous. Barré apportait dans
ement du personnel un esprit d'équité auquel il de-
tte estime profonde, dont sa modestie ne lui a peut-
s permis de se rendre compte, mais qui a éclaté lors
nort par les témoignages les plus touchants. Pas un
ment n'était proposé dans la situation d'un employé
sous ses ordres, sans un examen qui lui permît
ir son jugement sur des bases indiscutables. Ferme
le mauvais vouloir, mais indulgent pour la faiblesse,
e, familier même avec ceux qu'il avait jugés dignes
onfiance, il obtenait plus par une observation faite
ton doux qui lui était habituel, que d'autres par de
proches. Une franchise absolue sachant tout dire,
mais faire ressentir la moindre blessure, un esprit
ciliation en présence duquel toute résistance se trou-
entôt désarmée, une modestie qui lui rendait la flat-
supportable pour lui-même, et une dignité person-
ui le faisait malhabile à s'en servir envers ceux qu'il
placés plus haut que lui, voilà quels étaient les
aux traits de ce caractère exquis. Peu d'hommes,
royons pouvoir le dire, ont été autant estimés que
leurs supérieurs, de leurs collègues et de leurs su-
nés. « Au milieu de tous les ennuis, de toutes les
s du service, disait hier encore son chef et son ami,
'est pas entré une seule fois dans mon cabinet, sans
ie eu du plaisir à voir sa loyale figure. » Heureux
i savent inspirer de semblables sentiments, sous leurs
obstacles s'aplanissent, l'avenir est à eux, quand la
e vient point détruire tant de légitimes espérances.

Bien que possédant toutes les qualités qui assurent un accueil flatteur dans le monde, Barré le cultivait peu. Il donnait la plupart de ses soirées à la vie de famille, qu'on apprécie d'autant mieux qu'on est plus loin de son pays; entretenir une correspondance suivie avec ses chers parents, avec une sœur dont il était la joie et l'orgueil, avec un jeune frère sorti depuis peu de l'École d'application du génie et dont il aimait à suivre les débuts dans la carrière militaire; faire la lecture à haute voix à ses deux enfants, pour lesquels il avait une tendresse infinie, leur parler de ce Banat où il avait été si heureux de les conduire, employer l'après-midi du dimanche à de longues promenades avec eux dans les environs de Vienne, voilà quels étaient ses plus grands plaisirs. Trop intelligent pour ne pas trouver dans le culte des beaux-arts un utile délassement, il allait volontiers à ce théâtre du Burg, où les classiques d'outre-Rhin trouvent leurs meilleurs interprètes. « Ce soir, je vais étudier Schiller », nous disait-il quelquefois. La musique avait aussi pour lui de grands attraits; il se plaisait surtout à entendre les œuvres des grands maîtres dont Vienne est le berceau; il aimait à s'en faire expliquer la structure, à en pénétrer les savantes intentions, et la sûreté de jugement qu'il apportait en toutes choses lui permettait, bien qu'il n'eût pas la pratique de cet art, d'en admirer les beautés les plus abstraites.

Un pareil homme ne devait pas rechercher les honneurs, mais c'était eux qui venaient à lui. A l'occasion de l'Exposition universelle de 1873, il avait été nommé par S. M. l'Empereur d'Autriche chevalier de la Couronne de fer, récompense ordinaire de longs services, et distinction d'autant plus flatteuse pour lui qu'elle avait été plus rapidement obtenue. L'Institut impérial-royal géologique de Vienne, avec lequel il entretenait d'excellentes relations et dont il était membre correspondant, reconnaissait les encouragements donnés par lui aux recherches paléontolo-

s dans les terrains du Banat, en lui dédiant une nou- plante fossile qui figure dans ses collections sous le de *Zamites Barrei*. La ville de Szegedin lui expri- à l'occasion d'une exposition nationale faite en 1876, onnaissance la plus flatteuse pour la part importante par les mines, usines et domaines de la Société à cette ition. La même année, une communication faite par M. l'inspecteur général Daubrée sur le dégagement noniaque observé lors de la cassure des rails d'acier, lue à l'Académie des sciences et y excitait un juste t. Enfin la commission royale hongroise, pour l'Expo- universelle de 1878, se préparait à le désigner comme re du jury international pour le groupe des industries res et métallurgiques, quand la mort est venue le d'assister à cette exposition qu'il préparait avec tant e et dont le programme, en ce qui concerne les mines, s et domaines de la Société, avait été fixé par lui.

-il besoin de dire que Barré faisait partie de toutes ciétés qui poursuivent un but utile et généreux. Il membre de l'Association amicale des anciens élèves École polytechnique, membre fondateur de l'Asso- n amicale des anciens élèves de l'École des mines, bre de la Société géologique de France, de la Société dustrie minérale de Saint-Étienne, de l'Iron and Steel ute d'Angleterre, de la Société des ingénieurs et archi- autrichiens. L'École Monge, le comptait parmi ses gateurs; les Alsaciens-Lorrains de Paris, comme les ents français de Vienne, recevaient de sa bienfaisance inéreux appui. Mais ceux qu'il aimait avant tout, ent les jeunes camarades que les missions amenaient nne chaque année. Bien que son temps fût précieux, pouvait résister au plaisir de leur tracer un programme yage, de les équiper de ses conseils et de ses recom- ations. Il avait une double satisfaction à recevoir de s compatriotes, et à les recevoir dans ce pays d'Au-

triche qu'il aimait et dont il voulait les voir emporter un bon souvenir. C'est peut-être une illusion de notre part, mais il nous semble qu'encouragés par ce bon accueil, ils venaient plus nombreux chaque année. Qu'il en soit ainsi longtemps encore ! Si Barré n'est plus là pour recevoir ces jeunes voyageurs, sa mémoire sera pour eux une sauvegarde, et ses successeurs apprendront à faire pour eux ce qu'il faisait lui-même avec une si grande bienveillance.

C'est ainsi que s'est écoulée, pendant ces huit dernières années, cette vie qu'on pourrait citer comme modèle et qui devait avoir une si brusque fin. Une maladie, qui paraissait d'abord inoffensive, a brisé en quarante-huit heures tous les ressorts de cette vigoureuse nature. S'il était possible pour les siens de trouver quelque adoucissement à une si poignante douleur, ils le puiseraient dans les témoignages exceptionnels de sympathie prodigués à sa mémoire. De la Bohême, de la Hongrie accourent les représentants de ce personnel dont l'attachement se révèle aujourd'hui avec plus de force que jamais ; les couronnes viennent s'amonceler au pied du lit mortuaire ; le drapeau noir est arboré au-dessus des puits de mine ; des télégrammes, écrits sous le coup de l'émotion la plus vive, arrivent sans cesse ; ils sont adressés à la famille en deuil par des amis inconsolables, par des milliers d'employés et d'ouvriers qui tous ressentent la perte du chef qu'ils estiment, parce que tous l'ont vu à l'œuvre. Partout de semblables hommages auraient leur prix, mais ne doivent-ils pas acquérir encore une plus grande valeur quand c'est sur la terre étrangère qu'ils se produisent et viennent ainsi montrer que, malgré l'époque troublée que nous traversons, il est des hommes devant le nom desquels tous les sentiments autres que ceux de l'affection et du dévouement disparaissent.

Vienne, mars 1878.

STÈME ATMOSPHÉRIQUE D'EXTRACTION

POUR

LOITATION DES MINES A TOUTE PROFONDEUR

Par M. Zulma BLANCHET,
irecteur de la Société anonyme des houillères et du chemin de fer
d'Épinac (Saône-et Loire).

loitées d'abord par les affleurements à la surface du nsuite par des puits à câbles desservis successivement es treuils à bras, des manéges à chevaux et des mas à vapeur, les mines ont réclamé des moyens d'exon de plus en plus puissants avec leur profondeur le jour croissante. Les perfectionnements dus aux ges, à la fabrication des câbles, à l'agencement des urs ou bobines d'enroulement, ne peuvent cependant e point, malgré les meilleures cordes d'acier et les urs héliçoïdaux de forme spiraloïde, permettre de ser pratiquement les limites relativement peu éloi- auxquelles les houillères arrivent de notre temps.
s un autre point de vue, la profondeur avec laquelle oît la température et augmentent les exigences d'aé- réclame aussi l'intervention de dispositions propres re facile le séjour des houillères et à les débarrasser son.
de lever les difficultés, nous avons pris le parti de ir à un moyen radical sur lequel, dès 1855, l'atten- tait appelée par M. L. Gruner, alors directeur de des mines de Saint-Étienne. Nous avons appliqué à c, dans le puits Hottinguer, dont l'avenir s'étend de 1.000 mètres de profondeur, le système atmosphé- objet du présent mémoire.

Ce mémoire comprendra trois parties comme il suit :

Ire PARTIE. — Exposé théorique et calculs dynamiques;
IIe PARTIE. — Description et installation des appareils;
IIIe PARTIE. — Conséquences générales du système et résultats de sa première application au puits Hottinguer des houillères d'Épinac.

PREMIERE PARTIE.

Exposé théorique et calculs dynamiques.

Principe du système. — Le système est fondé sur les théorèmes de Torricelli et de Pascal, les lois de Mariotte et de Dalton. Il utilise la pesanteur et la force élastique de l'air.

Consistance de l'organe principal. — Il consiste, comme organe principal, en un tube métallique librement suspendu dans le puits, comme les colonnes des pompes, et contenant un piston qui remorque directement un train d'un nombre déterminé de chariots placés dans une cage. Le tube qui est en communication par le bas avec l'atmosphère, pour prendre de l'air et pour en échapper, est relié par le haut avec une machine pneumatique et raccordé aussi à l'air extérieur par divers orifices qui sont ouverts et fermés à volonté. A l'ascension du train, sous l'action de la machine pneumatique, l'air libre, pris au fond du puits, entre dans le tube. A la descente du train, opérée par l'admission de l'air sur le piston, l'air entré dans le tube pendant l'ascension est refoulé au dehors.

Des portes et des taquets, des registres et des robinets correspondant aux recettes du fond et de l'extérieur, permettent de faire entrer dans la cage et d'en faire sortir à volonté des chariots pleins ou vides. Des baromètres et des

pareils de sonnerie, des compteurs et des chronomètres diquent où se trouve le train, soit à la montée, soit à la scente.

Tube simple et tubes conjugués. — Le tube est simple ou njugué.

Dans le premier cas, il comprend une seule colonne ns laquelle monte et descend alternativement un seul ain chargé ou vide.

Dans le second cas, il comprend deux colonnes conjuées entre elles, de telle façon qu'un train vide descend ns la première en même temps qu'un train plein monte ns la seconde.

Marche des trains dans les deux cas. Aérage en résultant. - Avec un tube simple, la machine pneumatique déprime avale au-dessus du piston, dans le tube, l'air qu'elle foule, soit dans l'atmosphère, soit dans un réservoir ou gulateur à volume variable convenablement disposé. Avec 1 tube conjugué, l'air pris par la machine pneumatique t refoulé du train montant sur le train descendant.

Quel que soit le cas, les trains sont tenus en équilibre nstant sous des dépressions déterminées en relation avec ur poids ; et le système fonctionne tant pour les descendre ır le simple effet de la gravité, que pour les monter au oyen de la machine pneumatique, leur vitesse étant maématiquement réglée d'un côté, à la descente, par le lume d'air admis sur le piston ; d'un autre côté, à la ontée, par le volume d'air enlevé de dessus le piston. orsque le train descend, il chasse l'air qui est au-dessous ı piston, dans la mine s'il a été rempli d'air frais, à l'exrieur s'il a été rempli d'air chaud. En d'autres termes, lon que l'air qui pousse le train montant est pris sur un urant d'air frais ou d'air chaud, cet air est envoyé dans mine ou au dehors par le train descendant. Quant à l'air ui est admis sur le piston à la descente et qui en est retiré l'ascension, il vient librement de l'atmosphère et il y est

renvoyé à chaque voyage si le tube est simple. Il va, au contraire, constamment d'un tube à l'autre si le tube est conjugué, soit avec un tube semblable, soit avec un réservoir de capacité variable d'un volume convenablement donné.

Tout en faisant l'extraction, le système atmosphérique fait donc aussi l'aérage. Seulement son action, dans ce cas, est intermittente : il ne peut, par suite, suffire pour l'aération à laquelle il ne fait que contribuer plus ou moins puissamment.

Rôle particulier du système contre le grisou. — Tel est son rôle général, à côté duquel il en a un autre tout particulier, basé sur l'influence exercée par la pression barométrique sur les dégagements de grisou.

Conversion de la mine en cloche pneumatique. — A la faveur de la puissante machine pneumatique capable de mener le vide à une demi-atmosphère, les mines peuvent être disposées pour être fermées en l'absence des ouvriers, et la dépression de l'air peut y être poussée aussi loin que le permettent la constitution et la nature des puits et galeries. Sous l'action de cette dépression extraordinaire, le grisou sera délogé des espaces qu'il occupe et soutiré par les fissures et les pores de la houille, des massifs dans lesquels il est comprimé.

La dépression de l'atmosphère étant amenée dans la mine au degré déterminé, la mine sera mise en communication avec l'extérieur par un orifice réglé de façon à introduire et à produire dans les travaux une venue et un courant d'air correspondant à l'avalement de la machine pneumatique. Après quelque temps de marche de cette dernière, toutes les galeries seront remplies, ainsi que tous les espaces environnants, d'un air nouveau et pur qui sera venu balayer et remplacer l'air qui était vicié et chargé de grisou. L'action de la machine pneumatique sera arrêtée, l'air ramené à la pression ordinaire et, quand les ouvriers ren-

'eront dans les chantiers, le grisou en aura été préalablement extirpé. Sans attendre de la nature une baisse arométrique relativement peu importante, on aura fait .rectement avec la machine une dépression énorme dans , mine convertie en cloche pneumatique, et on l'aura purifiée avant d'y pénétrer.

Observation des mesures ordinaires contre le grisou. Leur ésumé en dix points. — En agissant ainsi, nous estimons éanmoins qu'il ne faudra pas cesser d'observer de prendre ontre le grisou, ce terrible ennemi des mineurs, les mesures généralement suivies et qui sont résumées à Épinac ans les dix points suivants :

° Bon usage des lampes de sûreté, défense de fumer et reconnaissance analytique, permanente, si possible, de la composition de l'air;
° Fonctionnement régulier de l'aérage;
° Enlèvement des poussières et arrosage des galeries;
° Enlèvement complet du charbon à mesure de son abatage dans les chantiers;
° Remblayage des tailles et fermeture complète des barrages;
° Visite préalable par la surveillance, avant l'entrée des ouvriers, des chantiers où ils ne doivent pénétrer que si le gaz ne s'y montre point;
° Interdiction du tirage à la poudre dans tout chantier susceptible de donner du gaz;
° Jaugeage répété des courants d'air par des expériences anémométriques;
° Observation des dépressions barométriques;
° Évacuation de tout chantier qui n'est pas assaini et au besoin de tout le puits.

Il faut donc, tout en appliquant les engins de l'extraction atmosphérique contre le grisou, ne point cesser de 'endre contre lui toutes les précautions commandées par logique et l'expérience.

Il reste maintenant, pour terminer la première partie du émoire, à présenter la marche théorique du système et les .lculs dynamiques de son fonctionnement.

Marche théorique. — Comme plus haut, nous considérerons dans ces calculs le cas d'un tube simple et d'un tube conjugué.

Cas d'un tube simple. — Soit un tube A de longueur L, de diamètre D et de section S rempli d'air à la pression P. Il renferme à la partie inférieure le piston M du poids Q et la charge utile C qu'il supporte. Il communique avec l'atmosphère à la partie inférieure, et à la partie supérieure par l'orifice à robinet *g*. Par le sommet, il est relié avec la machine pneumatique par le tuyau I. (Pl. V, *fig.* 1 et 2.)

Période de raréfaction ou d'équilibre. — Sous l'action de la machine pneumatique l'air est raréfié au-dessus du piston, sa pression diminuant comme les termes d'une progression géométrique qui a pour raison le rapport du volume V du tube à ce même volume augmenté du volume W des cylindres de la machine. Ainsi P étant la pression atmosphérique, et p celle de l'air dans le tube après un nombre de coups de piston, on a l'équation :

$$p = P\left(\frac{V}{V+W}\right)^n, \tag{1}$$

d'où vient

$$n = \frac{\log p - \log P}{\log V - \log(V+W)}. \tag{2}$$

A un certain moment de la raréfaction, la pression de l'air est descendue de P à p_1 de telle sorte que le piston M et sa charge sont en en équilibre dans le tube et on a :

$$p_1 + \frac{Q+C}{S} = P \tag{3}$$

ou

$$Q + C = S(P - p_1). \tag{4}$$

Ce qui indique que, sous une même dépression, le poids total élevé dans le tube est proportionnel à sa section; que

pour une même section, il est proportionnel à la dépression, et enfin qu'il serait à son maximum avec $p_1 = 0$, c'est-à-dire dans le cas du vide parfait dans le tube.

Période d'avalement ou d'ascension. — La machine pneumatique continuant le vide, l'équilibre est rompu, et le piston monte dans le tube à la faveur de la dépression, poussé par l'air qui arrive en *e*, en parcourant un chemin proportionnel au volume d'air avalé par la machine, de telle sorte que si ce volume W est $\frac{1}{n^{\text{ème}}}$ du volume V du tube, le piston avance dans le tube de $\frac{1}{n^{\text{ème}}}$ de sa longueur L. Le chemin qu'il parcourra sera donc de :

$$x = L \times \frac{W}{V} \tag{5}$$

ou

$$x = \frac{W}{S}. \tag{6}$$

Il suit de là que la vitesse d'ascension du train est proportionnelle au rapport du volume de la machine pneumatique à la section du tube. En d'autres termes, en se reportant à la formule (4), le tube comporte un tonnage proportionnel à sa section, et la vitesse du train est proportionnelle à la force de la machine pneumatique.

Descente de train. — Lorsque le train est arrivé au sommet du tube, la cage est déchargée, et les chariots vides remplacent les chariots pleins. Le train diminué du poids C n'offre plus que le poids Q qu'il s'agit de faire descendre sous la pression p_2 de l'air au-dessus du piston qui correspond à l'équation d'équilibre :

$$p^2 + \frac{Q}{S} = P, \tag{7}$$

d'où

$$Q = S(P - p_2). \tag{8}$$

Dans ces conditions, la communication avec la machine

pneumatique est interrompue, l'ouverture e est fermée, le tuyau E est ouvert par G, et l'air est admis sur le piston par l'orifice O à robinet. L'orifice O et le tuyau d'échappement E fonctionnent de telle sorte qu'avec la pression maintenue par l'éloignement du train à p_2 sur le piston, à chaque entrée par O d'un volume d'air y à la pression P correspondant à un volume q sous la pression p_2, il se fait par E une sortie d'air du même volume q à la pression ordinaire P. Le train, toujours en équilibre, descend ainsi au fur et à mesure de l'arrivée et de l'écoulement de l'air avec la vitesse de ce dernier au-dessous du piston dans le tube, et d'après les relations suivantes :

$$q = Sx, \quad (9) \qquad x = \frac{q}{S}, \quad (10)$$

$$q = sX, \quad (11) \qquad X = \frac{q}{s}, \quad (12)$$

$$y = q\frac{p_2}{P}, \quad (13)$$

x et X représentant la vitesse de l'air dans le tube à section S, et dans le tuyau à section s.

On doit régler l'orifice O en fonction de la vitesse déterminée par $\frac{q}{s}$, et de y. Il n'y a pour cela, en représentant par O la section cherchée, qu'à satisfaire à la relation

$$O = \frac{q\frac{p_2}{P}}{\sqrt{2gh}}, \quad (14)$$

dans laquelle h exprime en mètres la hauteur de la colonne d'air correspondant à la différence de pression entre P et p_2.

Les formules (13) et (14) montrent d'ailleurs que la vitesse du train est proportionnelle à la quantité d'air admis sur le piston, et que cette quantité d'air est pro-

portionnelle à la fois à l'orifice d'admission, et à la pression de l'air au-dessus du piston.

Différence de travail entre le premier voyage et les suivants. — Le train étant arrivé au bas du tube, le second voyage et les suivants se feront comme le premier, avec cette différence qu'il n'y aura qu'à déprimer l'air de la pression p_2 à la pression p_1, tandis qu'au premier voyage, la dépression était à faire de P à p_1. Dans tous les voyages, moins le premier, le travail de raréfaction sera donc simplifié et la formule (1) deviendra :

$$p_1 = p_2\left(\frac{V}{V+W}\right)^n, \tag{15}$$

d'où

$$n = \frac{\log p_1 - \log p_2}{\log V - \log(V+W)}. \tag{16}$$

Cas de deux tubes conjugués. — Dans le cas de deux tubes conjugués, rien ne change dans le principe du système qui reste fondé sur les mêmes lois. Mais le travail devient plus facile par la conjugaison qui permet à la fois de développer un travail moindre pour la même production, et d'obtenir une production plus grande dans le même temps.

Deux périodes comme avec un tube simple. — Que l'on considère, en effet (Pl. V, *fig.* 3), deux tubes A_1 et A_2 contenant chacun un piston M_1 et M_2, l'un à la partie inférieure, l'autre à la partie supérieure, et disposés pour communiquer alternativement en bas avec le tuyau d'échappement E, et en haut avec la machine pneumatique, prenant successivement à chaque voyage l'air dans le tube A_1 pour le refouler dans le tube A_2, et inversement dans le tube A_2 pour le refouler dans le tube A_1 ; le piston M_1 montera quand le piston M_2 descendra, l'air à la pression P arrivant sous le piston M_1 par e_1 pendant qu'il est refoulé par M_2 dans le tuyau E et réciproquement.

Deux périodes auront lieu dans l'action de la machine pneumatique avec deux tubes comme dans le cas d'un seul, la période de raréfaction et la période d'avalement.

Première période. Chemin fait par le piston à vide pendant que le piston à charge est mis en équilibre. — Pour la première période, prenons les deux tubes remplis d'air à la pression p_2 au-dessus des pistons M_1 et M_2 qui renferment le premier le poids $Q + c$, le second le poids Q. Le piston M_1 est au fond du tube A_1, et le piston M_2 au sommet du tube A_2 où il se trouve en équilibre sous la pression p_2. Pour faire monter M_1 et descendre M_2, il faut, d'une part, abaisser la pression dans le tube A_1 de p_2 à p_1, et d'autre part, envoyer dans le tube A_2 l'air qui sera pris en A_1 à des pressions géométriquement décroissantes de p_2 à p_1, pour être refoulé sous la pression p_2. C'est ce que fera la machine pneumatique en aspirant l'air dans un tube pour le verser dans l'autre, et voici alors ce qui se passera.

A chaque volume d'air à pression décroissante pris en A_1 pour être envoyé en A_2, le piston M_2 parcourra un chemin décroissant lui-même comme la progression géométrique selon laquelle la pression en A_1 descendra de p_2 à p_1. Lorsque la pression en A_1 sera arrivée à p_1, le piston M_1 sera en équilibre, la période de raréfaction sera achevée, et le piston M_2 aura descendu dans le tube A_2 par hauteurs successives décroissantes x_n, x_{n-1}..... x_3, x_2, x_1, dont la somme x sera d'une hauteur égale à celle dont le volume d'air contenu dans le tube A_1 de hauteur L, aurait à augmenter pour passer de la pression p_2 à la pression p_1. Cette hauteur est donnée par l'expression :

$$x = L\left(\frac{p_2}{p_1} - 1\right). \qquad (17)$$

Il suit de là, p_2 étant toujours plus grand que p_1, que la valeur de x sera proportionnelle au rapport des pressions de l'air sur chaque piston. Elle sera nulle si les pressions

sont les mêmes, et en général $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{n^{ième}}$ de L selon que le rapport des pressions sera de $1 + \frac{1}{2}$, $1 + \frac{1}{4}$ ou $1 + \frac{1}{n^{ième}}$.

Deuxième période. — Dans la deuxième période, c'est-à-dire après le moment d'équilibre du piston M_1, la machine pneumatique avalera l'air du tube A_1 par volumes égaux à la pression constante p_2 qu'elle refoulera aussi par volumes égaux sous pression constante p_2 dans le tube A_2. Le train M_1 s'élèvera uniformément avec la vitesse $L \frac{W}{V}$ à chaque coup de piston, et le train M_2 continuera à descendre en prenant une vitesse uniforme $L \times \frac{W}{V} \times \frac{p_1}{p_2}$ égale à celle qu'il avait dans le dernier instant de sa marche à vitesse décroissante. Les deux trains arriveront ainsi en même temps l'un au bas de sa course, l'autre au sommet de la sienne.

Après le premier voyage, tous les autres se continueront de la même manière. Il n'y aura qu'à renverser les conditions réciproques de chaque tube avec la machine pneumatique et le tuyau d'échappement.

On voit par tout ce qui vient d'être dit que le système à deux tubes conjugués réalise bien les avantages énoncés, la production plus grande tenant à ce qu'un train monte quand l'autre descend; le travail moindre résultant de ce que la dépression ou la compression de l'air sont simplifiés et réduits pour un même résultat, leur variation ne se faisant plus qu'entre des limites inférieures à la pression atmosphérique P, c'est à dire de la pression d'équilibre à *charge* p_1 à la *pression d'équilibre* à vide p_2 dont la plus grande est sensiblement plus petite que P.

Cas du réservoir régulateur à volume variable. — Si l'on avait un seul tube conjugué avec un réservoir à volume variable obtenu d'une façon ou d'une autre, soit par un puits à petite profondeur et à large section, soit par une cloche mobile comme les gazomètres, capable en tous cas

de fournir le volume V du tube, on obtiendrait l'un des avantages de la conjugaison de deux tubes, c'est-à-dire celui de faire un travail moindre pour une extraction donnée. Alors tout se comporterait théoriquement comme précédemment avec cette différence que les vitesses du grand piston et du petit piston seraient inversement proportionnelles à leurs sections.

L'appréciation des circonstances de travail à obtenir et de frais d'installation à dépenser dans lesquelles on se trouvera pour la conjugaison avec piston ou cloche d'équilibre, fera voir ce qu'il conviendra de faire pour adopter ou rejeter son emploi.

Réservoir à volume constant. — Le réservoir à volume déterminé en fonction du volume du tube et des dépressions de marche aurait aussi pour résultat de réduire le travail à développer, mais il enlèverait à ce travail son roulement uniforme et gênerait par suite les moteurs à vapeur qui, pour un voyage, auraient progressivement à accroître leur force du départ du train du fond du tube à son arrivée à l'orifice. En effet, dans ce cas, le volume du réservoir devrait être tel que le train y puiserait l'air nécessaire à sa descente pour l'y refouler à son ascension, ce qui exigerait une variation de pression de P à p_2, d'où il vient pour la capacité X du réservoir, V étant le volume du tube :

$$X = V\left(\frac{P}{p_2} - 1\right). \qquad (18)$$

Ainsi selon que le rapport de P à p_2 sera de 2, 3 ou n, le volume de réservoir sera le même que celui du tube, double, ou $(n - 1)$ fois aussi grand.

Conclusions sur les réservoirs. — Le réservoir à volume variable peut seul être avantageux, à moins d'avoir un réservoir à volume constant de construction naturelle et partant économique. Dans le réservoir à volume variable,

c'est par la conjugaison de tubes égaux que seront obtenus les meilleurs résultats.

Calculs dynamiques. — Nous adopterons pour l'établissement des calculs du travail développé dans le fonctionnement du système, le même ordre que dans l'exposé de sa théorie. Nous distinguerons, en conséquence, deux cas, et dans chaque cas deux périodes. Nous poserons d'ailleurs les données ci-dessous se rapportant au puits Hottinguer :

(*a*)

D	diamètre du tube.	$1^m,60$
L	longueur.	1.000 ,00
$S =$	$\frac{\pi D^2}{4}$ section.	2 ,00
Q	poids mort du train vide. { piston. . . 1.375 kilog. / cage. . . . 1.400 — / chariots. . 2.250 — } . .	5.025 kilog.
C	poids utile du train.	4.500 —
Q + C	poids total du train.	9.525 —
f	frottement positif à l'ascension.	475 —
f	frottement négatif à la descente.	250 —
P	pression atmosphérique.	10.000 —

Nous aurons ainsi pour exprimer les pressions d'équilibre p_1 et p_2 à charge et à vide, c'est-à-dire pour la montée et la descente en fonction de la pression atmosphérique P, les deux formules :

$$\frac{Q+C+f}{S}+p_1=P, \qquad (19)$$

$$\frac{Q-f}{S}+p_2=P, \qquad (20)$$

et

$$p_1=P-\left(\frac{Q+C+f}{S}\right), \qquad (21)$$

$$p_2=P-\left(\frac{Q-f}{S}\right). \qquad (22)$$

Cas d'un seul tube. Deux périodes. — En marche nor-

male, avec un seul tube, la première période dite de raréfaction, comprendra le travail développé pour déprimer l'air de p_2 à p_1, la seconde dite d'avalement sera celle du travail nécessaire, pour prendre l'air dans le tube à la pression p_1 et le refouler dans l'atmosphère à la pression P.

1re *période.* — Pour la raréfaction, le travail fait par la machine pneumatique dans le tube, pour amener la pression de p_2 à p_1 au-dessus du piston, est égal à la différence de ceux T_2 et T_1, qu'il y a à faire pour abaisser la pression d'un côté de P à p_2, de l'autre côté de P à p_1. Dans les deux cas, il est le même que celui qui serait fait par un piston qui serait placé à x_2 ou x_1 au-dessus de l'extrémité inférieure du tube de longueur L libre par le haut, et qui parcourrait un chemin d'une longueur $L - x_2$ ou $L - x_1$, telle que la pression inférieure de l'air resté dans le tube sur la hauteur x_2 ou x_1 du tube idéal au-dessus du fond du tube, soit abaissée à p_2 ou p_1. Or, en tous cas, le travail du piston sera égal à celui qu'il fera sur le chemin $L - x_2$ ou $L - x_1$ à pleine pression P, diminué de celui fait en contre-pression, par le volume d'air de hauteur x_2 ou x_1 se détendant suivant la loi de Mariotte.

On aura donc pour T_1 et T_2 les expressions :

$$T_1 = SP(L - x_1) - SPx_1 \log \text{hyp.} \frac{L}{x_1}, \qquad (23)$$

$$T_2 = SP(L - x_2) - SPx_2 \log \text{hyp.} \frac{L}{x_2}, \qquad (24)$$

Ou en remplaçant x_1 et x_2 par leurs valeurs calculées en fonction de p_1 et de p_2 avec P :

$$\left.\begin{aligned} T_1 &= SP\left(L - L\frac{p_1}{P}\right) - SPL\frac{p_1}{P} \log \text{hyp.} \frac{L}{L\frac{p_1}{P}} = \\ &= SL\left(P - p_1 - p_1 \log \text{hyp.} \frac{P}{p_1}\right), \end{aligned}\right\} \qquad (25)$$

$$T_2 = SL\left(P - p_2 - p_2 \log \text{hyp.} \frac{P}{p_2}\right). \qquad (26)$$

t comme $T = T_1 - T_2$, il vient :

$$\left.\begin{aligned} &= SL\left(p_2 - p_1 + p_2 \log hyp. \frac{P}{p_2} p_1 \log hyp. \frac{P}{p_1}\right) = \\ &= SL\left[p_2\left(1 + \log hyp. \frac{P}{p_2}\right) - p_1\left(1 + \log hyp. \frac{P}{p_1}\right)\right]. \end{aligned}\right\} \quad (27)$$

• *période.* — Dans la période d'avalement durant la-lle a lieu l'ascension du train dans le tube par hauteurs cessives, dépendant du volume d'air avalé par la ma-ne pneumatique, le travail Θ fait par cette dernière est l à $n\theta$, n étant le nombre de coups de piston donnés la machine pour vider le tube, ou en d'autres termes, tant le rapport $\frac{V}{W}$ du volume du tube à celui des cy-lres pneumatiques. De là :

$$\Theta = n\theta. \quad (28)$$

Mais dans chaque cylindre pneumatique, le travail θ fait haque course, n'est autre que celui qu'il faut exercer le volume W de l'air contenu dans le cylindre à la ssion p_1, pour le comprimer de la pression p_1 à la pres-n P, l'amener au volume $w = W \times \frac{p_1}{P}$, et l'expulser du indre en profitant de la contrepression p_1 qui agit tou-rs sur la surface du piston. Ce travail est en consé-ence donné par la formule :

$$\theta = Pw\left(1 + \log hyp. \frac{P}{p_1}\right) - p_1 W. \quad (29)$$

Et par suite

$$\Theta = n\left[Pw\left(1 + \log hyp. \frac{p_1}{P}\right) - p_1 W\right]. \quad (30)$$

Le travail total est ainsi $T + \Theta$, et si l'on suppose un rende-nt de 75 p. 100 à la machine, il aura pour expression :

$$\frac{T + \Theta}{0,75}. \quad (31)$$

Enfin pour les forces F_1 et F_2 en chevaux-vapeur, qu'il faudra dépenser pour l'accomplissement de chaque travail T et Θ, on aura les formules ci-après en désignant par t_1 et t_2 le nombre de secondes de la période de raréfaction et des manœuvres, et par t_3 celui de la période d'ascension :

$$F_1 = \frac{T}{0,75(t_1 + t_2)75,00}, \qquad (32)$$

$$F_2 = \frac{\Theta}{0,75 \times t_3 \times 75,00}. \qquad (33)$$

De là vient pour la force totale moyenne F :

$$F = \frac{F_1(t_1 + t_2) + F_2 \times t_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \qquad (34)$$

ou mieux sous une autre forme :

$$F = \frac{T + \Theta}{0,75 \times (t_1 + t_2 + t_3) \times 75,00}. \qquad (35)$$

Les expressions (2), (16) et (41), feront connaître le temps t_1 de la raréfaction qui sera déduit de la vitesse des pistons pneumatiques. On peut estimer à 60 secondes celui des manœvres t_2 qui, au moyen de tuyaux d'équilibre, se feront en partie pendant la raréfaction, le train étant compris entre ses taquets d'appui et de retenue. On déterminera t_3 d'après la vitesse d'ascension fixée elle-même par les équations (43) et (44).

Cas de deux tubes conjugués. — Avec deux tubes conjugués, les formules du travail seront les mêmes qu'avec un seul tube, dans la raréfaction et dans l'avalement. Il n'y a pour les établir, qu'à tenir compte, comme cela a été exposé dans la théorie du système, des avantages résultant des limites réduites des pressions entre lesquelles agit la machine pour une même dépression.

1re *période.* — Dans la première période, il n'y aura

s, en effet, qu'à déprimer l'air de p_2 à p_1 en enlevant
partie de volume à p_2 pour ramener l'autre partie à p_1,
e travail se fera avec un maximum de compression de
tandis qu'il fallait, dans le cas d'un seul tube, passer
la pression P.

On aura donc ainsi pour T :

$$T = Sp_2(L - x) - Sp_2 x \log \text{hyp.} \frac{L}{x}. \qquad (36)$$

Et comme on a pour valeur de x :

$$x = L\frac{p_2}{p_1}, \qquad (37)$$

valeur de T sera :

$$T = SL\left(p_2 - p_1 - p_1 \log \text{hyp.} \frac{p_2}{p_1}\right). \qquad (38)$$

2° *période*. — Il en sera de même dans la seconde pé-
de pour $\Theta = n\theta$, et il viendra ainsi :

$$\theta = p_2 w\left(1 + \log \text{hyp.} \frac{p_2}{p_1}\right) - p_1 W, \qquad (39)$$

$$\Theta = n\theta = n\left[p_2 w\left(1 + \log \text{hyp.} \frac{p_2}{p_1}\right) - p_1 W\right]. \qquad (40)$$

En comparant ces formules à celles du premier cas, on
t que p_2 étant plus petit que P, et $\frac{p_2}{p_1}$ plus petit que $\frac{P}{p_1}$,
sera évidemment plus petit lui-même.

La formule (32) qui donne F reste aussi sous la même
me. Il y a seulement à prendre, pour son application,
nouvelles valeurs de T et de Θ.

Nous ajouterons à cet exposé une application des calculs
x deux cas, d'un seul tube et de deux tubes conjugués.
us ferons cette application en prenant pour éléments du
be et du train, les données (a), et nous supposerons que

l'on ait affaire : 1° à une machine pneumatique b_1, à deux cylindres conjugués ayant chacun un volume W égal à $1^{m3},200$; 2° à une machine b_2 de même genre avec cylindres de chacun $7^{m},800$.

Avec la première machine, le volume W aura une longueur l de $0^{m},60$; avec la seconde cette longueur sera de $1^{m},20$.

La vitesse v des pistons pneumatiques sera de $0^{m},60$ dans l'une, et de $0^{m},923$ dans l'autre, et de là viendra pour le temps t_1 de la raréfaction exprimé en secondes :

$$t_1 = \frac{nl}{v}. \tag{41}$$

On en tirera pour la section s des cylindres :

$$s = \frac{W}{l}. \tag{42}$$

On en déduira aussi pour la vitesse ψ du piston du tube :

$$\psi = v \times \frac{2s}{S}. \tag{43}$$

Et par suite, on aura pour le nombre de secondes t_2 de l'ascension du train sur la hauteur L du tube :

$$t_2 = \frac{L}{v} \times \frac{S}{2s} = \frac{L}{\psi}. \tag{44}$$

Application des calculs. Rendement du travail. — L'application des calculs donnera dans les deux machines :

P	=	10.000	Q	=	5.025
L	=	1.000	C	=	4.500
S	=	2	f	=	+ 475
p_1	=	5.000	f	=	− 250
p_2	=	7.612,50	v	=	0,60 (b_1) / 0,923 (b_2)

viendra ensuite, pour les deux cas de la première ma-
ıe à deux cylindres W chacun $1^{m^3},200$:

		TUBE SIMPLE.	TUBES CONJUGUÉS.
		mètres.	mètres.
n	=	360,532	»
l	=	0,600	»
s	=	2,000	»
ψ	=	1,200	»
t_1	=	360,532	»
t_2	=	60,000	»
t_3	=	833,333	»
w	=	0,600	[redacted]
T	=	2.446.809,000	1.021.464,000
θ	=	4.118,3632	2.322,1216
$n\theta = \Theta$	=	6.931.172,000	4.203.536,000
F_1	=	106	44
F_2	=	148	90
F	=	134	74

t pour les deux cas de la seconde machine à cylindres
hacun $7^{m^3},800$:

		TUBE SIMPLE.	TUBES CONJUGUÉS.
		mètres.	mètres.
n	=	34,102	»
l	=	1,20	»
s	=	6,50	»
ψ	=	6,60	»
t_1	=	70,333	»
t_2	=	60	»
t_3	=	166,666	»
w	=	3,900	[redacted]
T	=	2.446.809,000	1.021.464,000
θ	=	27.092,740	16.393,900
$n\theta = \Theta$	=	6.931.472,000	4.203.536,000
F_1	=	334	189
F_2	=	739	448
F	=	561	312

e là ressort le résumé suivant en kilogrammètres :

DÉSIGNATION de l'effet et du travail.	PAR train complet avec un seul tube.	PAR train complet avec 2 tubes conjugués.	PAR 1.000 kilog. de houille avec un seul tube.	PAR 1.000 kilog. de houille avec 2 tubes conjugués.
Effet utile.	4.500.000	4.500.000	1.000.000	1.000.000
Effet réel.	9.378.281	5.225.000	2.084.062	1.161.111
Travail du moteur.	12.504.375	6.966.666	2.778.750	1.548.148

Il montre qu'à la profondeur de 1.000 mètres, le moteur rend 36 p. 100 avec un seul tube et 64 p. 100 avec deux tubes conjugués.

Fuites. Leur influence. — Dans les évaluations qui précèdent, nous avons supposé que le rendement de la machine pneumatique serait de 75 p. 100, sans tenir compte des fuites qui pourront exister dans le tube. Il importe de considérer ces fuites et d'exprimer le rôle qu'avec une section totale Σ, elles joueront dans la marche de l'appareil.

Soit h la hauteur de la colonne d'air correspondant à la différence des pressions P et p_1, et résultant de la formule $h = 0{,}76 \times \frac{D}{d}$, où D est le poids spécifique du mercure et d celui de l'air ; le volume d'air qui entrera par seconde dans le tube par la section Σ sera, avec le coefficient $k = 0{,}63$, de Φ et de Φ_1 aux pressions P et p_1, et l'on aura :

$$\Phi = k \times \Sigma \times \sqrt{2gh}, \qquad (45)$$

$$\Phi_1 = k \times \Sigma \times \sqrt{2gh} \times \frac{P}{p_1}. \qquad (46)$$

L'air avalé par seconde par la machine pneumatique étant de $\frac{W}{l} \times v$ sous la pression p_1, les fuites réduiront le volume réel à :

$$\frac{W}{l} \times v - k \times \Sigma \times \sqrt{2gh} \times \frac{P}{p_1}. \qquad (47)$$

Avec les mêmes pressions et les mêmes cylindres pneumatiques, il sera donc diminué proportionnellement à la section des fuites, et le travail deviendra nul quand on aura l'égalité :

$$\frac{W}{l} \times v = k \times \Sigma \times \sqrt{2gh} \times \frac{P}{p_1}, \tag{48}$$

ou

$$\Sigma = \frac{\frac{W}{l} \times v}{k\sqrt{2gh} \times \frac{P}{p_1}}. \tag{49}$$

On voit ainsi que Φ_1 étant $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{200}$, ou en général $\frac{1}{n^{\text{ème}}}$ de $\frac{W}{l} \times v$, l'air avalé ne sera plus que les $\frac{99}{100}$, ou en général les $\frac{n-1}{n^{\text{ème}}}$ de $\frac{W}{l} \times v$. Pour obtenir réellement le travail utile à la marche du système dans les conditions précédemment établies, il faudra, par suite, augmenter les forces employées à le produire.

En résolvant d'ailleurs l'équation (49) pour les deux cas des machines qui ont été considérées dans les calculs, la valeur de h étant de $0{,}76 \times \frac{D}{d} = 0{,}76 \times \frac{13.598}{1.30}$, on trouvera :

$$\Sigma = 0^{m^2},0068, \tag{50}$$

$$\Sigma = 0\ \ ,0341. \tag{51}$$

Et si l'on fait $\Sigma = 0^{m^2},0001$, on obtiendra 17 litres $\frac{1}{2}$ pour valeur de Φ, et 35 litres pour valeur de Φ_1.

Tout cela montre que pour marcher dans de bonnes conditions et se soustraire à l'influence des fuites, il convient : 1° d'avoir des cylindres pneumatiques puissants, avalant de gros volumes d'air ; 2° d'apporter les soins les meilleurs dans la perfection de ces cylindres et du tube, afin que la section des fuites soit aussi petite que possible ; 3° de disposer le système de façon à avoir une faible valeur

pour h, c'est-à-dire de donner la préférence à des tubes à large section, afin de travailler à une dépression moindre.

Retour sur diverses formules. — Dans diverses formules qui précèdent, les données ont été établies, afin de simplifier les calculs, en prenant à une valeur constante la pression atmosphérique P pour tout le trajet des trains, c'est-à-dire que la profondeur des puits a été négligée. Il a été aussi supposé que les trains tenus en équilibre n'obéissaient point à la force d'inertie, et que leur mouvement, notamment à l'arrivée aux recettes ou stations, était directement réglé sur celui de la machine pneumatique à l'ascension et sur l'admission d'air à la descente. Les choses ne se passent pas exactement ainsi; il importe de faire ressortir les règles à suivre dans la marche du système.

Variation de la pression atmosphérique. — La pression atmosphérique étant représentée par une colonne de mercure de hauteur H exprimée en centimètres à l'orifice du puits, elle sera au fond du tube de longueur L de $H + \frac{L}{100}$, de sorte que l'effet qu'elle exercera sous le train, du moment de son départ du fond au moment de son arrivée à son sommet, diminuera progressivement de $\left(H + \frac{L}{100}\right)$ à H. Par contre, la colonne d'air à pression h contenue dans le tube exercera sur le train une résistance qui de $h\left(1 + \frac{L}{100\,H}\right)$ au départ, ira en diminuant jusquà l'arrivée, où elle sera réduite à h. La pression utile de l'air agissant sur le train sera ainsi exprimée :

1° Au bas du tube au départ par :

$$\left(H+\frac{L}{100}\right)-\left[h\left(1+\frac{L}{100H}\right)\right]=(H-h)\left[\frac{L}{100}\left(1-\frac{h}{H}\right)\right]. \quad (52)$$

2° Au sommet du tube à l'arrivée par :

$$H-h.$$

D'où il suit que la quantité n en centimètres de mercure
nt augmentera progressivement la dépression de l'air
ns le tube à son sommet sera de :

$$n = \frac{L}{100}\left(1 - \frac{h}{H}\right). \tag{53}$$

Ce qui fait voir que plus L sera grand, plus le départ
ı train au fond sera facile avec une même valeur de h.
Dans le cas de L = 1.000 et $\frac{h}{H} = \frac{1}{2}$, la différence n sera
5, soit de 1.250 kilogrammes avec un tube de 2 mètres
rrés de section.

Il ressort de là ce fait que le système atmosphérique, à
nverse des câbles, agit d'autant mieux pour démarrer
ı charges du fond, que la profondeur des puits est plus
ande.

Remarquons d'ailleurs en passant que la variation n (53)
ut être utilisée pour indiquer d'une façon constante la
sition des trains dans le tube. Il n'y a pour cela qu'à
oir un baromètre commandant une aiguille à cadran de
s-grand rayon, et qui sera gradué par expérience pour
valeur de n, au moyen de divisions indiquant diverses
ofondeurs.

Arrêt des trains à la descente. — Quand un train du poids
descend avec une vitesse ψ à vide sous une pression
quilibre p_1 en refoulant à l'extérieur l'air à la pression
linaire P, il continue son mouvement, après la fermeture
l'admission d'air, jusqu'à ce que la dépression de l'air
nfermé dans le tube au-dessus du piston donne un travail
al à celui correspondant à sa vitesse initiale. Ce travail,
appelant l_1 la longueur parcourue dans le tube au mo-
nt où cesse l'admission d'air, et x celle sur laquelle se
ntinue le mouvement, est exprimé par la formule :

$$\frac{\;}{\;} = Sl_1p_1 \log \text{hyp.}\left(\frac{l_1 + x}{l_1}\right) = Sl_1p_1 \log \text{hyp.}\left(1 + \frac{x}{l_1}\right). \tag{54}$$

La valeur de x, qui dépend de la vitesse ψ pour un même train, sera toujours relativement faible. Elle ne variera sensiblement qu'avec de petites valeurs de l moindres que la hauteur génératrice correspondant à la vitesse ψ.

Si le train descendant est arrêté, non pas par la suppression de l'admission d'air, mais par la fermeture de l'échappement de l'air refoulé librement, en supposant que la pression d'équilibre p_1 soit maintenue au-dessus du piston, et que l_2 représente la longueur à laquelle il se trouve au bas du tube, il parcourra une distance x tenant à l'équation :

$$\frac{Q\psi^2}{2g} = Sl_2 P \log \text{hyp.} \left(\frac{l^2}{l_2 - x}\right). \qquad (55)$$

Et si, quand le train descend en équilibre, l'admission d'air et l'échappement cessaient simultanément, le mouvement oscillatoire se ferait sur une longueur x que donneraient les deux équations (54) et (55) réunies.

$$\frac{Q\psi^2}{2g} = S\left[l_1 p_1 \log \text{hyp.} \left(\frac{l_1 + x}{l_1}\right) + l_2 P \log \text{hyp.} \left(\frac{l_2}{l_2 - x}\right)\right]. \quad (56)$$

Il conviendra, afin d'éviter un arrêt trop brusque, de ne pas fermer à la fois l'admission d'air et l'échappement.

Arrêt des trains à l'ascension. — A l'ascension, si l'on considère un train du poids $(Q + C)$ animé, sous une pression p_2, d'une vitesse ψ, l'avalement de la machine pneumatique cessant au-dessus du piston et l'admission d'air se continuant par dessous à une distance l du sommet du tube, le mouvement se continuera d'après la formule :

$$\frac{(Q + C)}{2g} \psi^2 = Slp_2 \log \text{hyp.} \left(\frac{l}{l - x}\right).$$

Comme dans le cas de la descente, la valeur de x sera relativement faible et subordonnée, pour un même train, à la hauteur correspondant à la vitesse ψ. Lorsque la valeur

de l sera peu éloignée de cette hauteur, la valeur de x, toujours plus petit que l, pourrait donner lieu à des compressions élevées. On se prémunira contre elles en établissant d'une façon suffisante la résistance du tube, en réglant convenablement sa longueur au-dessus de la prise d'air de la machine pneumatique et en pourvoyant le tube de soupapes bien réglées, de façon à ce que l'air extérieur vienne pénétrer dans le tube et arrêter le piston en agissant sur sa face supérieure.

Descente des trains, l'air libre sur le sommet du tube et le bas du tube fermé. — Nous terminerons ces diverses considérations sur le mouvement des trains dans le tube en considérant un train d'un poids $(Q + C)$ qui partirait à l'air libre du sommet du tube de longueur L, la partie inférieure de ce dernier étant fermée. Dans ce cas, le train ne s'arrêtera qu'après avoir comprimé, en parcourant le chemin x, le volume d'air compris dans le tube, de telle façon que l'on ait l'équation :

$$(Q + C)x = X \qquad (58)$$

Or,

$$X = SLP \log hyp. \frac{L}{L - x} - SPx. \qquad (59)$$

Et la valeur de x devient ainsi :

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{SLP}{(Q + C) + SP}\,[\log hyp.\, L - \log hyp.(L + x)] = \\ &= A[B - \log hyp.\,(L - x)] = \\ &= A \times B - A \log hyp.\,(L - x) = \\ &= D - F \log (L - x). \end{aligned}\right\} \qquad (60)$$

On a par là :

$$F \log (L - x) = D - x. \qquad (61)$$

On peut poser :

$$x = D - x, \qquad (62)$$

$$x = F \log (L - x). \qquad (63)$$

Et d'un autre côté :

$$U = x + F \log(L - x) - D = 0. \qquad (64)$$

Avec ces trois dernières équations, on peut, en opérant, soit graphiquement avec (62) et (63), soit par le calcul avec (64), déterminer les valeurs de x.

Selon que l'on fait L égal à 25, 500 ou 1.000 mètres, avec les nombres adoptés pour Q, C et S, on trouve dans le tableau ci-dessous les valeurs de x suivies des distances théoriques d'arrêt, des pressions en résultant, et de l'amplitude des oscillations des trains abandonnés à eux-mêmes :

L	S	Q + C	x	ARRÊT théorique.	PRESSIONS pour x	PRESSIONS pour l'équilibre.	AMPLITUDE des oscillations.
mèt.	mèt. c	kilog.	mètres.	mètres.	kilog.	kilog.	mètres.
25	2	10.000	14,60	8,34	2,40	1,33	5,66
Id.	Id.	5.000	9,30	5,00	1,60	1,25	4,30
500	Id.	10.000	291,40	166,66	2,40	1,33	124,74
Id.	Id.	5.000	185,70	100,00	1,60	1,25	85,70
1.000	Id.	10.000	582,85	333,33	2,40	1,33	249,52
Id.	Id.	5.000	371,50	200,00	1,60	1,25	171,50

Les amplitudes sont d'autant plus considérables que la longueur du tube est plus grande et le poids du train plus fort. Les pressions indépendantes de la longueur pour un même poids, sont pour une même longueur en relation avec le poids. C'est sur les limites qu'elles peuvent atteindre sous l'effet des amplitudes que doit être calculée la résistance à donner aux parois du tube pour qu'il n'éprouve pas de détériorations, en cas de fausse manœuvre ou d'accident. On verra dans la deuxième partie du mémoire, quelles sont d'ailleurs les dispositions diverses que présentent les appareils, afin de les prévenir et donner au système la plus grande sécurité.

DEUXIÈME PARTIE.

Description et installation des appareils.

En dehors de la machine pneumatique, dont il sera parlé la troisième partie de ce mémoire, dans l'application du ystème au puits Hottinguer, le tube comprend : 1° des iroles de diverses sortes en fer et fonte assemblées entre lles au moyen de boulons ; 2° divers organes consistant n portes, taquets, robinets, registres, clapets, soupapes, ıyaux d'échappement, de manœuvre et d'équilibre, tou-hes et baromètres nécessaires à son fonctionnement; 3° le 'ain avec son piston, sa cage et ses chariots.

1° *Viroles.* — Il y a les viroles ordinaires, les viroles ortières, les viroles à taquets, les viroles à registres, et s viroles à clapets, les viroles de raccord et les viroles à uches.

Viroles ordinaires. — Les viroles ordinaires sont faites, our un diamètre de 1^m,60 et une hauteur de 1^m,30, en tôle e 7 à 8 millimètres d'épaisseur. Chaque virole (Pl. V, *fig.* 4 8), est formée d'une feuille réunie suivant la génératrice du ylindre par une lame de couverte ayant 0^m,16 de largeur sur millimètres d'épaisseur, et fixée au moyen de rivets à tête aisée à l'intérieur, affleurant exactement avec la surface u cylindre. Suivant le cercle, elle se termine par une ornière de 0^m,06 1/2 de côté et de 14 millimètres d'é-aisseur fixée par des rivets à tête fraisée à l'intérieur omme ceux de la lame de couverte sur la génératrice. La ıce de la cornière est tournée de façon à offrir un plan ıuni de stries parfaitement normal à l'axe du cylindre. lle porte 60 trous pour réunir entre elles les viroles par

60 boulons d'assemblage de 18 millimètres de diamètre. Les bords des cornières sont équarris régulièrement pour fournir appui aux cercles servant à les amarrer et à les suspendre dans le puits.

Le poids de la virole ordinaire est de 508^{k},8.

Viroles portières. — Les viroles portières sont venues fonte, elles ont le même diamètre intérieur que les vir en tôle, avec lesquelles elles doivent se raccorder, et e sont comme elles munies de cornières. Leur épaisseur de 14 millimètres au cylindre et de 15 millimètres cornières (Pl. VI, *fig.* 1 à 4). Elles ont 1^{m},20 de haut

Elles sont munies de deux ouvertures d'une largeu 1 mètre et d'une hauteur de 1^{m},08 dont les plans et axes sont disposés normalement aux extrémités d'un m diamètre. Ces ouvertures qui servent à l'entrée et sortie des chariots, sont garnies de châssis à glissiè dans lesquels glissent des portes en fonte qui, au mo de contre-poids s'élèvent ou s'abaissent à volonté. portes et leurs châssis sont dressés. La fermeture compl des portes est obtenue par la simple action de la press extérieure qui, dans le système, agit sur elles pour appliquer contre les châssis.

Les viroles portières offrent aussi des portées sur l quelles se fixent les appuis des leviers des taquets.

Les viroles portières pèsent 1.426 kilog. avec les port

Viroles à taquets. — Les viroles à taquets, représent sur la Pl. VII, sont aussi en fonte de 14 millimètres d'ép seur. Elles sont à cornières pour être assemblées aux au par 60 boulons (Pl. VII, *fig.* 1 à 3).

Elles se distinguent : 1° par quatre portées trouées d lesquelles doivent jouer les verrous ou taquets à pre étoupes destinés à appuyer ou retenir le train pendant manœuvres des chariots ; 2° par cinq autres portées plei sur lesquelles viennent se fixer au moyen de prisonni les supports des arbres et leviers des taquets.

Le poids des viroles à taquets est de 535 kilog. sans ɔur attirail à taquets.

Viroles à registre. — Dans le double but de permettre la esserte facile des étages intermédiaires des puits et de onner toute sécurité des manœuvres à la Recette de l'orice, le tube comprend des viroles à registre de sûreté. Ces egistres s'adaptent à la partie inférieure des Recettes, sont uverts quand le train est au-dessous, et fermés après son assage et son arrivée.

Aux Recettes intermédiaires, le registre simplifie l'exéution des manœuvres qui ont lieu comme au fond du puits, u moyen des tuyaux et des robinets d'équilibre. A la ecette supérieure, il prévient la chute du train dans le ıbe en cas de fausse manœuvre.

Il consiste en une virole en fonte, haute de $0^{m},30$ (Pl. VI, *g.* 5 à 9), qui porte latéralement une boîte de forme recıngulaire dans laquelle vient se loger le tiroir du registre uand il est ouvert. Ce dernier, appuyé dans les rainures e la virole et de la boîte, est guidé dans son mouvement ar deux tiges traversant des presse-étoupes. Il est comıandé de la Recette par une roue manivelle agissant sur un ignon engrenant dans une crémaillère guidée.

La virole registre pèse 3.000 kilog.

Viroles à clapets. — Les viroles à clapets portent les lapets de prise et d'échappement d'air. Elles n'offrent 'autre particularité que celle d'être réunies par un joint rdinaire en caoutchouc aux boîtes de ces clapets. (Pl. VIII, *g.* 1.)

Viroles de raccord. — Semblables aux viroles ordiaires, elles n'en diffèrent que par la hauteur qui, plus etite, varie de 1 mètre à $0^{m},60$. Elles servent à séparer n tronçons de 50 mètres la colonne du tube, et permetent de raccorder les parties de la colonne divisées par les iroles spéciales à portières ou à taquets. Elles ont aussi our but de faciliter les manœuvres qu'il y aurait à faire,

dans le cas où il faudrait remplacer des viroles sur la hauteur du tube.

Viroles à touches. — Les viroles à touches reçoivent les touches employées à divers usages. Elles ont été pralablement à leur descente dans le puits, munies à cet effet, de portées de tôle.

Joints de viroles. — Tous les joints des viroles sont faits avec une lame de caoutchouc de 5 millimètres d'épaisseur qui, à l'avantage d'une étanchéité certaine, joint celui de permettre les effets de la dilatation du fer avec les variations de température.

2° *Organes divers du tube.*— Les divers organes du tube comprennent les portes, les taquets, les robinets, les registres, les clapets, les tuyaux de manœuvre et d'équilibre, les touches et les baromètres, les soupapes et le tuyau d'échappement.

Il y a aussi, pour guider les mécaniciens, des chronomètres, des thermomètres, des hygromètres et des tableaux. Ces derniers indiquent, en fonction de la charge des trains, le temps nécessaire à leur parcours selon l'avalement d'air pour l'ascension, et selon l'admission d'air pour la descente.

Portes. — A propos des viroles portières, il a été dit comment sont installées les portes sur chaque virole. Il n'y a ici qu'à ajouter que les dispositions de l'installation sont faites pour avoir plusieurs portes superposées correspondant à deux ou à trois planchers d'une même Recette, distants entre eux de la hauteur d'un nombre déterminé de chariots, trois par exemple, et que toutes ces portes reliées les unes aux autres par des tiges de fer, sont équilibrées par le même contre-poids et manœuvrées toutes à la fois. De cette façon, avec la distance de trois chariots entre les portes, il y a à faire trois manœuvres pour prendre en même temps par chacune d'elles trois chariots, soit au otal neuf chariots.

Taquets. — Le but des taquets est d'assurer l'exécution e chaque manœuvre aux Recettes pour entrer les chariots ans les cages et les en sortir.

Chaque Recette comprend un double jeu de chacun trois iquets que l'on avance dans le tube et que l'on en retire omme on le veut au moyen de leviers et bielles ou tringles e commande (Pl. V et VII). Ces taquets, pris de haut en as, sont marqués à chaque série par les n°ˢ 1, 2 et 3. 'est avec les n°ˢ 1 que se fait la manœuvre des chariots 1, et 7; avec les n°ˢ 2 celle des chariots 2, 5 et 8, et avec s n°ˢ 3 celle des chariots 3, 6 et 9. Les taquets du haut, its taquets de retenue, arrêtent le train dans le mouement ascensionnel; ceux du bas, dits taquets d'appui, le etiennent dans son mouvement descendant.

Le train est renfermé avec le piston durant les maœuvres, entre le double jeu de taquets, et, pour donner uccessivement les chariots à chaque plancher, il est souvé et abaissé à volonté par le simple fonctionnement de obinets et de tuyaux au moyen desquels on le met en quilibre pour le faire monter ou descendre, en faisant gir l'air comme la vapeur.

Registres. — Les registres ordinaires se trouvent sur les oies de prise ou d'échappement d'air. Établis verticaleient, ils sont soulevés et tenus en équilibre par un contreoids qui disparait, soit sous l'action des mécaniens, soit par le mouvement de touches commandées par train atmosphérique et deviennent libres et ferment en etombant les ouvertures auparavant ouvertes (Pl. VII, g. 4).

C'est ainsi qu'il y a dans le système le registre de la gne d'aspiration d'air de la machine pneumatique et les gistres d'admission et d'échappement d'air des boîtes clapets.

Clapets. — Les clapets sont de deux sortes, les uns sernt à admettre l'air sous le piston pendant l'ascension du

train, les autres à le faire échapper à la descente. Logés dans des boîtes qui portent leur nom, ils fonctionnent pour l'admission du dehors au dedans du tube et pour l'échappement en sens contraire.

Chaque clapet est accompagné d'un registre qui, en fermant le tube d'une manière complète, permet de faire les manœuvres par les robinets et tuyaux dits d'équilibre.

Robinets et tuyaux de manœuvres et d'équilibre. — Ces appareils se distinguent en deux sortes, ceux de l'orifice et ceux du fond du puits.

A l'orifice, il y a : 1° en haut de la recette, deux robinets *o* et *g* qui communiquent, l'un avec la ligne de prise d'air de la machine pneumatique, l'autre avec l'atmosphère; 2° en bas de la recette, un robinet *n* qui communique avec l'extérieur.

Lorsque le train, entré pour ainsi dire en gare, est dans la Recette et que le registre de sûreté est fermé, on le fait monter d'un taquet à un autre, en ouvrant le robinet de la ligne d'aspiration de la machine pneumatique, en tenant fermé le robinet *o* et ouvert le robinet *n*. Pour le faire descendre, on ferme le robinet *g* de la machine pneumatique, on ouvre le robinet *o* qui fait admettre l'air sur le piston et on lâche l'air par le robinet inférieur *n* après l'avoir laissé comprimer par le train qui est ainsi manœuvré avec toute facilité (Pl. V, *fig.* 1 à 3).

Au fond du puits, les appareils comprennent un tuyau, dit tuyau d'équilibre, qui va de la partie inférieure du tube à la limite de course des manœuvres. Ce tuyau, qui porte un T au niveau de la Recette, est muni de deux robinets *s* et *r* posés l'un au-dessus du T, l'autre sur le T. En temps ordinaire, ces deux robinets sont fermés. S'agit-il de manœuvrer le train dans la recette, après avoir fermé préalablement les boîtes à clapets G, on opère de la manière suivante. La machine pneumatique fonctionnant pour

élever le train, on ouvre le robinet *r* et on tient fermé le robinet S. L'air arrive sous le piston par le robinet *r* et le train est soulevé. Pour le faire descendre, on ouvre le robinet S, on ferme le robinet *r*, l'air du dessous du piston est appelé en dessus à la faveur de la différence de pression et le train descend en vertu de son poids. On mène ainsi le train d'un taquet à un autre, en l'appuyant sur les taquets inférieurs et en le retenant par les taquets supérieurs. Pour le faire partir définitivement, il n'y a qu'à laisser ouverts les taquets de retenue et les orifices d'admission d'air.

Tuyau d'échappement. — Le tuyau d'échappement E va de la partie inférieure du tube à son sommet. Il communique au bas avec le tube par la boîte à clapet d'échappement d'air, par le haut avec l'extérieur, au moyen d'une vanne qui se ferme à volonté.

Son diamètre est de $0^m,50$. Il est construit en tôle de 3 millimètres, et composé d'une série de tronçons à cornières assemblées les unes aux autres par 16 boulons.

Les joints des cornières sont en chanvre.

Le tuyau d'échappement sert à écouler dans l'atmosphère, pendant la descente des trains, l'air de la mine introduit dans le tube pendant leur ascension. La vanne qui existe à son extrémité permet au mécanicien de l'extérieur d'arrêter le train en la fermant, soit pour prévenir une faute du mécanicien du bas, soit pour modérer sa vitesse en cas d'entrée accidentelle d'air trop considérable (Pl. VIII, *fig.* 1).

Touches à bouton à ressort. — Des touches à bouton à ressort sont placées dans la partie haute et dans la partie basse du tube. Elles servent les unes à indiquer aux mécaniciens le passage et l'arrivée du train au moyen de sonnettes qu'elles commandent ; les autres à faire fermer les registres d'aspiration d'air ou d'échappement pour arrêter le train en supprimant la communication du tube en

haut avec la machine pneumatique, et en bas avec le tuyau d'échappement.

La touche consiste en une tige qui joue dans un presse-étoupe appliqué au tube, et qui a son extrémité à bouton dans ce dernier, et l'extrémité opposée au dehors où elle commande un levier. Maintenue le bouton à l'intérieur du tube, par un ressort I, la tige s'efface au passage des pistons du train, agit par suite sur le levier, et par là sur les pièces qui s'y rattachent. Elle fait ainsi jouer une sonnerie ou un décliquetage (Pl. VII, *fig.* 4).

Baromètres. — Les touches ne sont pas les seuls instruments qui indiquent la position du train dans le tube, et son arrivée aux Recettes. Les baromètres à mercure et à cadran sont employés à cet usage, qu'ils remplissent de la façon la plus sûre, la plus simple et la plus satisfaisante, en même temps qu'ils font connaître la pression de marche des trains.

Les baromètres sont classés en baromètres de Recettes et baromètres de centaines. Les premiers ont leur point d'application au sommet et au bas des recettes : les seconds sont appliqués de 100 en 100 mètres sur la hauteur du tube. Tous sont ramenés d'ailleurs sous les yeux des mécaniciens avec désignation de leur rang et de leur poste au moyen de tuyaux de plomb. Par la pression plus petite ou égale à l'unité qu'ils indiquent, ils font voir, par un simple coup d'œil, si le train est au-dessous ou au-dessus de leur point d'application. On suit ainsi de 100 en 100 mètres le parcours du train, et on connaît d'une façon positive son arrivée aux Recettes.

Chronomètres et tableaux indicateurs. — Des chronomètres à secondes sont établies aux Recettes avec des tableaux qui font connaître le temps nécessaire aux trains pour parcourir leur trajet soit en descendant en fonction de leur poids et des orifices d'admission et d'échappement d'air, soit en montant avec telle ou telle vitesse résultant

le la marche des machines. Ils font voir aussi les pressions l'équilibre, qui correspondent aux trains de tel ou tel onnage.

Avec ces diverses données, les mécaniciens qui ont déjà leur service les touches, les sonneries et les baromètres, euvent se rendre compte d'une manière parfaite de tout e qui se passe dans le tube, et prévenir d'une façon sûre :s erreurs et les conséquences de faits accidentels sus- eptibles de jeter le trouble dans le service.

Hygromètres. — Les hygromètres placés aux Recettes, n annonçant le degré d'humidité de l'air admis dans le ıbe, font pressentir aux mécaniciens les variations que le 'avail des machines pneumatiques peut offrir, sous l'in- uence de la quantité de vapeur d'eau se comportant, dans on mélange dans l'atmosphère, d'après la loi de Dalton. s leur annoncent aussi les mesures à prendre pour le 'aissage fait à l'eau de savon chargée d'une faible quantité huile.

Thermomètres. — Il suffit de se reporter au principe sur quel repose le tube pour comprendre le rôle des ther- omètres dans le système et la nécessité d'en faire usage.

Soupapes. — Des soupapes de sûreté sont établies sur couvercle et sur le fond du tube. Leur but est de préve- r le choc qui pourrait avoir lieu en cas d'accident ou de usse manœuvre entraînant une vitesse trop grande du ain. Parmi les soupapes de sûreté est aussi classée celle ii, munie d'un robinet, est placée au fond du tube pour ouler l'eau de condensation.

3° *Composition du train. Sa manœuvre aux Recettes.* — train est composé : 1° d'un piston supérieur; 2° d'une ge contenant les chariots; 3° d'un piston inférieur (Pl. V, . 1 à 3 et Pl. VII, *fig.* 5 et 6).

Le piston supérieur est formé de deux pistons distants tre eux d'une longueur plus grande que la hauteur des rtes du tube, et plus petite que la distance existant entre

deux portes. Cette disposition permet au train de franchir sans difficulté les portes où le tube n'a plus sa cylindricité.

C'est au piston supérieur qu'est attelée la cage à neuf étages qui reçoit neuf chariots.

Le piston inférieur termine le train, lui sert de guide et de fermeture dans le trajet, et il permet l'accomplissement des diverses manœuvres aux Recettes. Il est muni d'une soupape qui est ouverte durant la route au cas où le train porte des voyageurs.

La réception aux Recettes se fait en trois manœuvres dans lesquelles sont pris et remplacés successivement trois à trois les neuf chariots du train. La première manœuvre correspond aux nos 1, 4 et 7 ; la seconde aux nos 2, 5 et 8 ; la troisième aux nos 3, 6 et 9.

L'exécution de chaque manœuvre a lieu en faisant venir successivement par le jeu des robinets d'admission et d'échappement d'air le train contre les taquets de retenue et d'appui qui correspondent entre eux. Le train est soulevé et abaissé à volonté, sous l'action de l'air qui permet de le diriger absolument comme si l'on agissait avec la vapeur sur le piston d'une machine.

Construction des pistons. — Les pistons sont construits soit en bois, soit partie en bois, partie en acier, soit tout entiers en acier. Ils doivent, sous le moindre poids possible, offrir la résistance voulue pour leur service ; être souples afin de donner lieu à peu de frottement, et étanches pour éviter les fuites.

L'acier donne le moindre poids pour la meilleure résistance.

La souplesse et l'étanchéité sont obtenues en faisant usage d'une garniture composée de cuir derrière lequel agissent 48 segments de bois ou de métal creux poussés par 96 ressorts en fil de laiton (Pl. VII).

Cage. — La cage est de même construite en acier, pour

ɿue son poids soit aussi réduit que possible. Elle est sem-
ɔlable aux cages employées dans les puits à câbles. Elle
ı'offre que la particularité d'être attelée aux pistons par une
ige à suspension autour de laquelle elle tourne librement
ur des anneaux sous un très-faible effort. On peut ainsi,
lans le cas où les rails ne correspondent pas à ceux des
Recettes, la ramener aisément à la main dans la position
ɿu'il convient qu'elle occupe pour sortir les chariots du
ube.

Voyage d'un train. 1° *Descente.* — Pour descendre un
rain, toutes les portes du tube sont fermées ; les taquets
ɿui doivent être toujours ouverts si ce n'est au moment de
lonner appui à la cage, sont rentrés dans leurs boîtes à
ɔresse-étoupes ; tous les registres fermés, excepté celui du
uyau d'échappement, et la communication avec la ma-
:hine pneumatique est interrompue. L'air est donné sur le
rain par les robinets d'admission, et selon son tonnage et
a section d'admission d'air, le train se rend au fond du
ube où il est arrêté sur l'air comprimé, soit qu'il ait fermé
ui-même le registre d'échappement commandé par une
ouche, soit que ce registre ait été fermé par les mécani-
:iens.

Le train s'arrêterait d'ailleurs, il faut le remarquer,
ıprès avoir passé la virole à clapet d'échappement en com-
ɔrimant l'air entre le fond du tube et cette virole.

2° *Ascension.* — Pour monter le train, tous les taquets
ont tenus libres, toutes les portes sont fermées, le registre
l'échappement abattu, et le registre d'admission d'air ou-
'ert. La machine pneumatique est mise en mouvement, et
e train s'élève selon la vitesse que lui imprime cette ma-
hine, dès que l'air a été déprimé au degré correspondant
ı son poids.

Les divers instruments dont le tube est pourvu signalent
on passage sur divers points de son parcours et les sonne-
ies annoncent son arrivée à la recette où se font les ma-

nœuvres qui ont été décrites pour retirer les chariots pleins et les remplacer par des vides.

Remarque sur la conjugaison de deux tubes. — Ce qui a été dit pour un tube simple s'applique en tout à deux tubes conjugués. Il faut seulement, avec deux tubes, que les manœuvres de réception aux recettes soient faites indépendamment dans chacun d'eux au fond comme au sommet, bien que les deux trains montant et descendant arrivent en même temps à leur destination.

Installation du tube dans le puits. — Qu'il y ait un seul tube ou deux tubes conjugués, l'installation dans le puits doit être disposée pour permettre, d'une part, de remplacer librement des viroles, d'autre part, de pénétrer dans le puits avec les engins ordinaires, cages, bennes et câbles desservis par une machine auxiliaire afin de pouvoir entretenir le revêtement de soutènement des puits, visiter l'extérieur des tubes et leurs supports, approfondir les puits et prolonger les tubes.

C'est d'après cette idée qu'est faite l'installation reproduite aux Pl. VIII et IX, soit avec deux tubes, soit avec un seul tube. On voit que le puits d'un diamètre de $4^{m},25$ renferme avec deux tubes de $1^{m},60$ de diamètre les divers compartiments nécessaires aux cordages de service, aux échelles, à l'aérage, aux tuyaux d'échappement.

Le puits est, à cet effet, moisé, c'est-à-dire divisé par des poutres ou moises en bois de chêne scellées dans les parois qui forment un rectangle de $3^{m},45$ par $3^{m},30$. Ce rectangle est divisé à son tour par deux autres moises laissant d'un côté chacune une place de $1^{m},75$ sur $1^{m},75$, d'un autre les cordages et les tuyaux (Pl. VIII, *fig.* 2 à 5).

L'équarrissage des moises employées à la division du puits est de $0^{m},20/0^{m},25$ pour les principales qui constituent le grand cadre, et de 10/25 pour les autres qui le subdivisent. C'est à ces moises, espacées de trois en troi mètres au plus, qu'est suspendu le tube embrassé par de

colliers amarrés aux bois par des agrafes, des tiges et des supports de fer.

Les colliers sont faits en fer méplat de 75/16^{mm}, en deux parties assemblées par boulons. Ils pèsent 60 kilogrammes l'un.

Les agrafes rivées aux colliers pour recevoir les tiges sont au nombre de quatre. Forgées en fer de 75/75^{mm} elles ont un poids de 2 kilogrammes chacune.

Les supports fixés aux moises par boulons sont en nombre correspondant avec celui des agrafes. Forgés aussi en fer de 75/25, ils pèsent en moyenne 5^{k}.2.

Les tiges allant des agrafes aux supports, sont de fer rond du diamètre de 25 millimètres. Elles sont à chaque extrémité munies d'un pas de vis qui reçoit des écrous avec lesquels on agit sur l'agrafe comme pour le support, pour régler les colliers de suspension et répartir uniformément sur chacun d'eux le tronçon du tube auquel ils correspondent.

Tous les 30 mètres, les moises sont armées deux à deux et les colliers doublés pour garantir la solidité générale de l'installation, et avoir les résistances voulues pour supporter, en cas de réparations, une plus grande longueur de tube.

Au-dessus de l'orifice du puits, le tube est prolongé d'une quantité nécessaire pour loger le train, les taquets, et l'appareil de prise d'air de la machine pneumatique. Il y a ainsi une colonne d'une vingtaine de mètres de hauteur qu'il faut soutenir en tenant compte de la pression atmosphérique exercée sur son couvercle. Pour cela, le puits est prolongé avec les moises de division au moyen de colonnes en fonte qui servent aussi à supporter les planchers superposés de la Recette. Des moises armées auxquelles viennent pendre des colliers et des tirants plus forts couronnent l'édifice (Pl. IX, *fig.* 1).

Tube de 603^{m},30 *de hauteur.* — Établi au puits Hottin-

guer en 485 viroles sur une hauteur de 603m,30, le tube comprend un poids total de 342.025 kilogrammes, savoir :

	kilog.
Colonne du tube.	245.500
Taquets et accessoires divers.	12.500
Boulons d'assemblage.	9.700
Tuyau d'échappement.	22.000
Attirail de suspension.	51.500
Joints en caoutchouc.	825
Total.	342.025

Les viroles ordinaires ont été fournies par MM. Schneider et Cie du Creusot. Les appareils à taquets, les portières et les registres viennent des ateliers Révollier, Biétrix et Cie de Saint-Étienne.

TROISIÈME PARTIE.

Conséquences générales du système, et résultats de sa première application au puits Hottinguer des houillères d'Épinac.

Conséquences générales du système. — Le système présente les conséquences qui se traduisent par des avantages résumés comme il suit :

Il permet d'exploiter les mines à toute profondeur avec un avantage d'autant plus grand sur les câbles que la profondeur est elle-même plus grande.

Il supprime les câbles et donne l'économie résultant de cette suppression.

Il contribue à l'aérage et par suite, à l'abaissement de la température des mines.

Il permet, en l'absence des ouvriers, de faire dans les travaux, sans les attendre de la nature, les dépressions barométriques sous l'influence desquelles le grisou est dé-

logé des espaces qu'il occupe, et vient envahir l'atmosphère des chantiers. Il donne aussi le moyen, par des dépressions suivies d'énergiques courants qui l'entraînent au dehors, de soutirer le grisou des houillères, et de n'y entrer qu'après l'en avoir, au préalable, radicalement extirpé.

Il donne lieu à une extraction que l'on ne peut obtenir des câbles, et il augmente ainsi considérablement, en reculant à la limite extrême de leurs profondeurs, la somme des richesses minérales que l'homme peut aller prendre au sein même de la terre où elles sont enfouies.

Il laisse libre les puits qui peuvent être visités, réparés, dotés de nouvelles Recettes et approfondis sans chômage pour l'extraction.

Il fait disparaître les inconvénients et les dangers inhérents aux câbles dont les ruptures causent des accidents et des dommages préjudiciables.

Il offre la sécurité la plus complète pour les trains, garantit la vie des hommes et protége le matériel dont il réduit les frais d'entretien.

Il permet non-seulement de descendre sans dépense de force, les ouvriers, les fers, bois, remblais et tous matériaux nécessaires à l'exploitation, mais encore d'utiliser le travail produit par tout train descendant en tirant parti de la vitesse qu'il imprime à l'air sortant du tube.

Il peut être employé à l'épuisement de l'eau comme à l'extraction des minéraux en la faisant venir dans des caisses ou bennes attelées au piston à la façon de la cage à chariots.

Il utilise mieux que les machines à câbles, avec un seul tube, la force dépensée; et avec deux tubes conjugués, il donne un rendement d'autant meilleur que le poids mort des trains disparaît dans ce cas pour ne laisser en jeu que le poids utile qu'ils renferment.

Il entraîne, il est vrai, des frais d'installation d'un

chiffre élevé, mais ces frais sont compensés par tous les avantages qu'il procure, et notamment par la suppression des câbles, le meilleur rendement du travail de la vapeur, l'entretien plus facile du matériel, le développement de l'aérage et l'enlèvement du grisou.

Premier essai du système. — Le premier essai du système a été fait au puits Hottinguer le 23 juillet 1876. Quoique entrepris avant sa complète organisation et l'achèvement de ses divers appareils avec une machine provisoire, il a complétement réussi. Du premier coup, le piston a voyagé dans le tube en amenant, en 20 minutes du fond du puits à la surface un train du poids de trois mille kilogrammes avec quatre voyageurs. Le lendemain le voyage a été répété dans les mêmes conditions avec six personnes parmi lesquelles se trouvaient M. Jutier, ingénieur en chef et M. Delafond, ingénieur ordinaire au corps des mines.

L'essai répété du 23 juillet fit voir que, malgré des irrégularités de vitesse dues à des variations sensibles de frottement, les trains offraient une grande docilité et se manœuvraient comme on le voulait, tout mouvement ayant lieu sans choc, et par suite sans danger pour les individus comme sans détérioriation pour le matériel. On reconnut d'ailleurs bientôt qu'il serait aisé de régulariser la marche du système en donnant moins de serrage aux pistons afin d'effacer les frottements, et la machine provisoire de faible puissance disposée en simple vue de l'essai fut maintenue pour faire provisoirement le service atmosphérique en attendant la machine de grande puissance qui doit le faire définitivement. Nous allons exposer successivement ce qu'est la consistance de chacune de ces machines, les résultats que la première a donnés et ceux que la seconde doit fournir.

Machine provisoire de service. Ses résultats dans le système. — La machine d'essai chargée provisoirement du service du tube consiste en une machine pneumatique

composée de deux cylindres verticaux de $1^m,60$ de diamètre et de $0^m,60$ de course, commandés au moyen d'engrenages par une machine à vapeur à un seul cylindre horizontal de $0^m,50$ de diamètre et $1^m,20$ de course, à laquelle étaient auparavant attelés des câbles.

Les cylindres pneumatiques installés à la place de bobines à câbles sont constitués au moyen de viroles ordinaires du tube provenant d'un concours ouvert, en 1873, dans les grandes usines de France pour sa construction. Ils sont conjugués entre eux et à double effet, de telle sorte que chaque piston aspire l'air sur une face en même temps qu'il le refoule sur l'autre. Les pistons sont en bois avec garniture en cuir pourvu de segments à ressorts comme les pistons du train.

Le rapport des engrenages de commande du moteur aux pneumatiques est de 2 à 3.

Le cylindre à vapeur n'est pourvu d'aucune détente.

Dans ces conditions, le système élève journellement dans le tube, avec une vitesse de $0^m,60$, réduite à $0^m,50$ par seconde en tenant compte de la raréfaction, sous une dépression de 24 à 25 centimètres de mercure, des trains du poids total moyen de 6.000 kilog., dont 3.000 kilog. de poids utile. La machine motrice, avec ce tonnage, tourne à 30 tours par minute, la vapeur venant des chaudières à la pression de 3 kilog. sur le piston animé d'une vitesse de $1^m,20$ par seconde. L'arbre des cylindres pneumatiques tourne à 20 tours par minute, les pistons marchant à $0^m,40$ par seconde. C'est ce que résument, pour la machine et le train, les expressions T_m et T_u établies, abstraction faites du travail de raréfaction :

$$T_m = \frac{20.000 \times (0,20 \times 1,20)}{75} = \frac{4.800}{75} = 64^{ch}, \qquad (65)$$

$$T_u = \frac{6.000 \times 0,60}{75} = \frac{3.600}{75} = 48^{ch}. \qquad (66)$$

De cette marche, avec une machine imparfaite, sinon défectueuse, tant en ce qui concerne le moteur que les cylindres à vent, il résulte, en dehors de toute action sur l'aérage :

1° Que le frottement du train est à peu près nul ;

2° Que le rendement du travail théorique de la vapeur est de 56 p. 100 par rapport au poids total extrait et de 28 p. 100 par rapport au poids utile ;

3° Que la vitesse du train dans le tube correspond au volume théorique d'air engendré par les pistons de la machine pneumatique, moins 400 litres par seconde.

Le frottement a été amené à une valeur insignifiante en ne craignant pas de donner de la gaîté au piston du tube et en graissant ce dernier simplement à l'eau de savon légèrement chargée d'huile (*).

En ce qui concerne le travail de la vapeur, nous nous bornerons à faire remarquer que le même moteur attelé aux câbles, ne pouvait élever que 500 kilog. de poids utile à la vitesse de 1m,80. Pour celà, la vapeur aux chaudières était à 4 kilog., et la vitesse du piston de 0m,948. On n'obtenait ainsi que 16 p. 100 du travail théorique de la vapeur. En quittant les câbles pour prendre le système atmosphérique, le moteur a donc presque doublé son rendement.

Quant à la vitesse du train devenue régulièrement uniforme, la marche actuelle constate, en supposant parfait le rendement des cylindres pneumatiques, et en imputant entièrement la perte d'air au piston du tube, que ce dernier ne perdra au maximum, sous les plus fortes dépressions qu'un demi-mètre cube par seconde. Par suite avec une machine pneumatique puissante, imprimant au train

(*) Le graissage comprend, pour une partie d'eau, deux millièmes de savon et un millième d'huile. Selon l'état hygrométrique, il varie de 5 à 25 kilog. d'eau par train.





profite, le train à enlever après l'avoir mis en équilibre. On doit d'ailleurs observer que les cas des machines Spécimen et Essai ne sont donnés que pour l'historique des phases qui ont précédé l'installation du puits Hottinguer.

Afin de compléter la comparaison de l'extraction à câbles, nous résumons ci-après le relevé des conditions de rendement dans lesquelles marchent à diverses profondeurs, les machines d'extraction des houillères d'Épinac, toujours au point de vue du travail théorique de la vapeur dépensée. A côté de ce rendement, nous plaçons celui qui, aux mêmes profondeurs, est ou serait fourni par une extraction pneumatique à simple tube sans conjugaison.

Nous y ajoutons aussi le charbon consommé par tonne utile extraite dans chaque système.

ableau comparé du travail théorique, du rendement et de la dépense en charbon des machines à câbles avec le système atmosphérique à tube simple de 250 1.000 mètres de profondeur.

PROFONDEURS en mètres.	MACHINES A CABLES. Travail par seconde en chevaux-vapeur :		MACHINES A CABLES. Rendement pour 100.	MACHINE ASMOSPHÉRIQUE. Travail par seconde en chevaux-vapeur :		MACHINE ASMOSPHÉRIQUE. Rendement pour 100.	CONSOMMATION en charbon par tonne utile extraite. MACHINES	
	dépensé.	utile.		dépensé.	utile.		à câbles.	atmosphérique.
							kilog.	kilog.
250	225	90	40	739 + 61 = 800	360	44	25	7,50
500	500	180	36	739 + 123 = 862	*Id.*	42	50	15,00
1.000	800	224	28	739 + 246 = 985	*Id.*	36	100	30,00

Il résulte des chiffres qui précèdent que, tandis qu'avec les câbles, le rendement du travail de la vapeur diminue de 40 à 28 p. 100 en descendant de 250 à 1.000 mètres de profondeur, il ne s'abaisse que de 44 à 36 p. 100 avec la machine pneumatique. En même temps, le charbon brûlé par tonne utile extraite, augmente avec les câbles de 2,50 à 10 p. 100 dans les mêmes limites de profondeur,

pendant qu'avec le système atmosphérique dans lequel le travail d'ascension est uniforme, il n'est au maximum que de 3 p. 100 à cause du rendement plus grand tiré des achines et de la détente plus régulièrement obtenue de vapeur (*).

Machine définitive. Sa description. — C'est ensuite des onnées fournies par la machine provisoire faite à Épinac ans les ateliers des houillères, que se construit à Saint-ienne, chez MM. V. Biétrix et Cie, la machine définitive ont la description suit :

Elle est du type horizontal.

Elle est construite de façon à pouvoir :

1° Être disposée en deux parties égales pour marcher ans le système atmosphérique, soit avec l'une quelconque entre elles, soit avec les deux à la fois.

2° Être munie d'une détente variable à volonté.

3° Être agencée pour fonctionner, selon les circonstances, et comme on le voudra, avec ou sans condensation.

Elle consiste en deux cylindres à vapeur à double paroi u à enveloppe d'une épaisseur minima de 35 millimètres onjugués par un arbre moteur commandant directement, hacun un cylindre pneumatique à double effet, le tout fixé vec bâti en fonte sur des massifs de maçonnerie.

Le diamètre des cylindres à vapeur est de 1m,20, ainsi ue leur course.

Les cylindres à vent dont la course est naturellement la même que celle des cylindres à vapeur, ont 2m,884 de diamètre, l'épaisseur minima des parois fortifiées de nervures spacées de 0m,46 étant de 45 millimètres.

L'écartement des plans parallèles verticaux menés par es axes des cylindres à vapeur et vent, est fixé à 6 mètres,

(*) A Epinac, la consommation de charbon à l'extraction par âbles se traduit par cette formule qu'il faut brûler aux chaudières 10 kilog. de houille par tonne utile extraite et par 100 mètres e profondeur.

la machine étant logée dans une chambre de 12 mètres de largeur par 24 mètres de longueur.

Les cylindres à vapeur sont attelés par bielles et manivelle à l'arbre à volant qui les conjugue.

L'arbre de conjugaison est distant de 6m,20 du milieu de l'axe des cylindres à vapeur.

La distance de milieu en milieu des cylindres à vapeur et à vent est de 6 mètres, celle du milieu des cylindres à vent à l'arbre moteur est de 12m,20. L'attelage des pistons des cylindres entre eux est construit pour être facilement monté et démonté.

Le mécanicien est placé entre les cylindres à vent, le dos tourné à ces derniers, et par conséquent la vue sur l'arbre d'accouplement des machines.

La vapeur dont l'action est réglée par une détente variable à volonté à cames et à bosses du système anglais Maudslay, à soupape ou à piston, arrivera par le dessous aux cylindres moteurs, d'un régulateur central pourvu de deux soupapes pour, à la fois, faciliter la mise en marche et donner éventuellement la vapeur à la machine motrice de l'appareil de condensation qui est indépendant. Elle s'écoulera soit à l'air libre, soit au condenseur.

La distribution de la vapeur aux cylindres est faite par tiroirs, et le changement de marche par la coulisse Stephenson.

Les cylindres à vapeur seront éprouvés à 15 kilog. et les cylindres à vent à 2 kilog.

Les pistons pneumatiques sont guidés comme les cylindres à vapeur, au moyen de glissières contenant l'huile de graissage.

L'air déprimé arrivera du tube aux cylindres à vent par une ligne centrale passant par l'axe du puits et embranchant sur chacun d'eux à la partie supérieure des boîtes à vent par un double T, les réunissant l'un à l'autre. Il s'échappera latéralement de chaque cylindre à la partie

supérieure par un tuyau horizontal partant extérieurement des boîtes à air divisées en deux parties par des cloisons verticales. Les soupapes seront réglées pour avaler et rejeter 7 mètres cubes par seconde dans chaque cylindre. Ces soupapes seront en caoutchouc de forme circulaire, en nombre de 57, d'une section de $0^{m2},85$ pour l'aspiration, et en nombre de 41 d'une section de $0^{m2},62$ pour le refoulement à chaque bout de cylindre. Elles sont fixées à des grilles à treillis hexagonal d'une épaisseur de $0^{m},175$. La largeur libre des boîtes à vent est de $0^{m},50$.

Les pistons des cylindres à vapeur seront formés de deux coquilles assemblées à rivets. Ils porteront trois rangées de segments et seront établis selon le système suédois. Leur hauteur est de $0^{m},30$, ce qui donne $1^{m},56$ pour la longueur totale des cylindres, y compris le jeu et les emboîtements des couvercles. Les cylindres sont revêtus d'une chemise en tôle d'acier.

Les pistons des cylindres à vent seront formés également de deux coquilles assemblées à rivets. Ils seront garnis sur chaque face d'une double lèvre de cuir. Leur hauteur est de $0^{m},35$, d'où suit, en dehors des chambres à air, entre les grilles à clapets, une longueur de $1^{m},57$ et une longueur totale de $3^{m},03$ avec les grilles, le jeu et les chambres à air.

Les tiges des pistons à vapeur et à vent sont en acier. Le diamètre des premières est de $0^{m},16$ et celui des secondes de $0^{m},20$.

L'arbre d'accouplement des moteurs et les manivelles sont en fer forgé de première qualité. Les boutons de manivelle sont en acier. Le diamètre de l'arbre est de $0^{m},60$ au milieu et de $0^{m},40$ aux paliers : celui des boutons est de $0^{m},22$.

Les bielles d'une longueur de $3^{m},20$ d'œil en œil, sont à tête simple et à mollet. Elles sont faites d'acier ou de fer de première qualité.

Les bâtis à tête arrondie sont composés chacun de quatre pièces dont deux pour les cylindres à vapeur, et deux pour les cylindres à vent. Ils sont assemblés à boulons et à frettes posées à chaud. Leur longueur totale est de 16 mètres, leur largeur maxima de $4^m,20$. Ils sont venus de fonte à section Zorès ou en U.

Le volant a $5^m,50$ de diamètre, son inertie étant strictement limitée à la régularisation de la machine qui doit être arrêtée brusquement à chaque voyage du train atmosphérique. Il est composé de plusieurs pièces solidement assemblées par frettes et boulons.

Les calages de toute sorte sont en acier.

Les coussinets de tous organes sont en bronze garni d'antifriction.

Les divers appareils de graissage sont en bronze, excepté les graisseurs des cylindres soufflants qui sont en fonte.

Le poids total de la machine dont l'esquisse est donnée (Pl. IX, *fig.* 2, 3 et 4), sera d'environ 210 tonnes.

Travail de la machine définitive. Sa dépense de charbon. — Nous estimons que cette machine, réglée à une marche de 23 tours $\frac{1}{10}$ à la minute, recevant la vapeur à 5 atmosphères sur le piston avec détente de un tiers sans condensation, consommera avec un tube simple, par voyage à 1.000 mètres, de 108 à 135 kilog. de houille, soit $1^k,80$ à $2^k,24$ par cheval et par heure.

Soient en effet :

R	rayon des cylindres vapeur.	$= 0^m,60$
r	rayon de la tige des pistons.	$= 0\ ,08$
l	course totale des pistons.	$= 1\ ,20$
l_0	course des pistons avant la détente. . .	$= 0\ ,40$
v	vitesse des pistons avant la détente. . .	$= 0\ ,923$
P_n	pression de la vapeur.	$= 5^k,162$
p	contre-pression.	$= 1\ ,032$

Le travail théorique de la vapeur dans les deux cylindres sera par seconde, donné par l'expression

$$\left.\begin{array}{l} T = 2\pi(R^2 - r^2)v \times \frac{l_0}{l} \times P_n\left(1 + \text{log hyp}.\frac{l}{l_0} - \frac{l}{l_0} \times \frac{P}{P_n}\right) = \\ = 52.886^{km}. \end{array}\right\} \quad (67)$$

D'où en chevaux une force :

$$F = \frac{52.886}{75} = 705. \quad (68)$$

Le poids total de la vapeur consommée par voyage sera, en se reportant, pour la durée du voyage, au temps exprimé au tableau des données, page 28 :

$$\left.\begin{array}{l} \Delta = 2\pi(R^2 - r^2)v \times \frac{l_0}{l}(t_1 + t_2 + t_3) \times 2^k,573 = \\ = 540^k. \end{array}\right\} \quad (69)$$

La consommation K de charbon sera par suite pour un voyage :

$$K = \frac{1}{5}\Delta = 108^k. \quad (70)$$

Et il viendra pour la consommation c de charbon par cheval et par heure :

$$\left.\begin{array}{l} C = \frac{1}{5} \times \frac{\Delta}{(t_1 + t_2 + t_3)} \times \frac{60^2}{F} = 1^k,80 \\ = 1^k,80. \end{array}\right\} \quad (71)$$

On peut tirer de ces divers résultats les conclusions suivantes :

Pour un voyage à 1.000 mètres, la machine consommera 540 kilog. d'eau et 108 kilog. de houille. Sa dépense en charbon sera ainsi de 2,4 à 3 p. 100 de son extraction utile.

En comptant sur 100 trains par jour, soit sur une ex-

traction de 450 tonnes, il lui faudra 54 tonnes d'eau e 13 tonnes $\frac{1}{2}$ de houille, soit 30 kilog. de houille par tonne de houille.

Avec des câbles, sa dépense en charbon à 1.000 mètres serait de 10 p. 100 de l'extraction. Pour une extraction journalière de 450 tonnes, il faudrait donc brûler 45 tonnes de houille, soit 100 kilog par tonne utile extraite.

Le système atmosphérique donne ainsi par tonne extraite une économie de charbon de 70 kilog., soit 0f,70 par tonne en évaluant ce charbon à 10 francs la tonne; et une économie de 315 francs avec une extraction journalière de 450 tonnes. C'est par an, avec 280 jours de travail, une économie totale de 88.200 francs, sans compter la suppression des câbles.

Action sur l'aérage. Arrachement du grisou. — L'action du système sur l'aérage a été négligé jusqu'à présent dans tout ce qui a été dit au sujet de ses premiers essais. Pourtant elle n'est point à laisser de côté, car elle se fait sentir d'une façon heureuse dans les chantiers. C'est ce qui a été constaté au puits Hottinguer où l'on a pu percer un travers bancs de plus de 300 mètres de longueur, et faire une traversée de 25 mètres dans le charbon sans être gêné ni par aucun gaz délétère ni par le grisou. Chaque fois que l'air a été vivement appelé au fond des chantiers en provoquant de grandes vitesses du train atmosphérique par des excès de dépression suffisante, la température y a été très-sensiblement abaissée, et le grisou qui apparaissait dans la houille a été emporté. Non munie d'une machine assez puissante et faute de dispositions particulières seulement possibles avec un circuit bien déterminé de l'air, la mine n'a pas encore été bien régulièrement convertie en cloche pneumatique. Néanmoins les expériences faites sont suffisantes pour estimer les résultats que donnera cette conversion répétée chaque jour. Aussi affirmons-nous de plus en plus notre avis sur l'avantage qu'offre le système pneumatique

contre le grisou, en permettant, par des dépressions artificielles assez grandes, de le déloger des mines sans attendre les dépressions atmosphériques de la nature.

D'ailleurs, ainsi que nous l'avons écrit dans la première rtie de ce mémoire, nous trouvons qu'il faut, tout en ainissant les houillères par la machine pneumatique, point délaisser les diverses mesures généralement en age. Il convient notamment et surtout d'éviter d'avo s poussières dans les galeries qu'il importe d'arroser ur se préserver contre une atmosphère non-seulement dégréable et chaude, mais encore d'autant plus dangereuse e la houille qui tapisse les parois de la mine et qui est spendue dans l'air, s'y trouve à cet état de ténuité avec quel la matière présente les phénomènes les plus énerques et les plus terribles.

MÉMOIRE

SUR

L'EXPLOITATION DE LA HOUILLE

DANS LE SUD DU PAYS DE GALLES

Par M. Léon LECORNU, élève-ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

Inférieur aux districts houillers du nord de l'Angleterre sous le double rapport de la perfection technique et de la production, le bassin du sud du pays de Galles (*Southwales*) présente néanmoins de grands éléments d'intérêts. Ses caractères géologiques, très-remarquables par eux-mêmes, réagissent sur les procédés d'exploitation, et il est utile de rechercher comment une longue expérience est parvenue à triompher des difficultés de toute sorte. Les conditions dans lesquelles se trouvent les mines du Northumberland, du Durham et du Lancashire s'éloignent tellement de celles que nous rencontrons en France, que ces mines ne peuvent guère nous servir de modèle. Il n'en est pas de même du Pays de Galles, et cependant aucune description détaillée de ce bassin n'a été, à ma connaissance, publiée jusqu'ici en français. Le présent travail, destiné à combler en partie cette lacune, est le résumé d'un mémoire que j'ai rédigé en 1876, à la suite d'un voyage de quelques mois en Angleterre. Les discussions imprimées du *Southwales institute of engineers*, mises à ma disposition, avec la plus grande obligeance, par M. Hortensius Huxham, secrétaire de l'association, m'ont été d'un grand secours; je dois citer aussi les « practical observations », de M. Fairley,

et les mémoires de la « Cardiff naturalist's society » qui m'ont été communiqués par le président, M. W. Adams. Les emprunts faits à d'autres sources sont indiqués dans le texte. Pendant mon séjour dans le pays, j'ai trouvé partout un excellent accueil, grâce aux recommandations dont j'étais porteur auprès des principaux ingénieurs et propriétaires de mines. Les commerçants français, fort nombreux à Swansea et à Cardiff, m'ont été plus d'une fois utiles; mais je dois surtout des remerciements à M. Moulun, consul de France à Swansea, qui a bien voulu m'aider de son expérience et de ses relations.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION GÉOLOGIQUE.

Topographie. — Ordre des couches.

Le bassin du Southwales occupe une bande irrégulière qui suit les bords du canal de Bristol, et comprend la totalité du Glamorganshire, avec une partie du Monmouthshire, du Caemarthenshire et du Brecknockshire.

L'aspect du pays est gai et pittoresque. Il est accidenté par de nombreuses collines, aux formes arrondies, que séparent des vallées verdoyantes. Le point le plus haut du bassin se trouve à Garnfach un peu au nord de la région centrale; son altitude est de 592 mètres. En remontant encore vers le Nord, on arrive au pays classique des formations dévonienne et silurienne; les Fans of Brecon, dans le vieux grès rouge, s'élèvent à 873 mètres.

Les vallées, étroites et profondes, courent généralement du Nord au Sud; on peut les séparer en deux faisceaux, qui divergent à partir du point culminant du Garnfach : le

faisceau oriental se dirige du Nord-Ouest au Sud-Est et vient aboutir à l'estuaire de la Severn. Le faisceau occidental, marchant du Nord-Est au Sud-Ouest, débouche dans le canal de Bristol. Chaque faisceau correspond à une anfractuosité dessinée dans la côte : à l'Est, le golfe de Cardiff; à l'Ouest, la baie de Swansea. Vers le golfe de Cardiff, le sol s'aplanit sensiblement, et les rivières, réunies en deux principales : l'Usk et la Taff, descendent des pentes douces et unies. Les rivières occidentales ne se réunissent pas de la même façon : deux d'entre elles, la Loughor et la Taw, sont même séparées par la presqu'île élevée de Gower, qui forme une saillie à l'ouest de la baie de Swansea.

La superficie totale du bassin, en y comprenant les lambeaux de terrain houiller, qu'on retrouve plus à l'Ouest, dans le Pembrokeshire, et qui doivent être considérés comme son prolongement, est à peu près de 256,000 hectares (dont 19.456 pour le Pembrokeshire).

Sur ce nombre, 216.576 sont à découvert, 39.188 sont sous la mer, et 236 sont recouverts par les formations plus récentes.

Le terrain houiller repose sur les terrains silurien et dévonien. Le calcaire carbonifère, qui fait suite au dévonien, est en stratification concordante avec les couches de houille. Néanmoins, à la limite sud-est du bassin, on voit le calcaire plonger vers le canal de Bristol, tandis que les couches houillères plongent naturellement en sens contraire, vers le centre du bassin. Ceci a conduit à penser que le terrain houiller devait se continuer primitivement de ce côté, par une série de replis, de manière à rejoindre le bassin de Nelsea, près de Bristol; il y aurait donc eu une dénudation, dont le professeur Ramsay a d'ailleurs retrouvé d'autres traces.

Le calcaire carbonifère renferme des filons de plomb de peu d'importance, contemporains sans doute de ceux du Flintshire et du Derbyshire.

Les terrains postérieurs au houiller, qui recouvrent celui-ci en plusieurs parties, sont : le permien, le trias et le lias supérieur. L'infralias (couches à avicula contorta et cardium rhæticum) est nettement caractérisé en quelques endroits. — Les alluvions quaternaires constituent à l'est de Cardiff, une plaine étendue. En outre, le fond de la vallée de la Taff est constitué par des gravois dans lesquels on a rencontré le *cervus elaphus*. La tourbe existe fréquemment sur les hauts plateaux.

Le terrain houiller se divise en trois parties :

Millstone grit;
Farewell rock;
Coal measures.

Le *millstone grit*, ou plum-pudding stone, a une puissance totale de 66 mètres, commençant par 6 mètres de conglomérats. Il contient peu de fossiles.

Le *farewell rok* se compose de fragments de quartz, réunis par un ciment siliceux. Cette roche, très-appréciée pour la fabrication des matières réfractaires, accompagne presque partout les coal-measures, dont elle constitue à vrai dire l'étage inférieur. Elle contient quelques couches de charbon et de minerai appelées *Rosser veins*.

Rien n'est plus difficile que d'arriver à établir la série continue et complète des coal measures du pays de Galles. Les couches sont tellement nombreuses, la puissance totale du terrain est si considérable, les failles sont si multipliées, que la plus grande incertitude continue à régner sur l'identité des mêmes couches, en différents points du bassin. Les variations de puissance et de qualité sont trop grandes pour qu'on puisse en déduire des comparaisons certaines. M. W. Smyth pense qu'on pourrait se servir des fossiles assez nombreux qu'on recueille, mais ce travail est encore à faire.

La couche la plus constante se trouve, d'aprè M. Fairley,

immédiatement au-dessus du farewell rock. Sa puissance va de $0^m,30$ à $0^m,75$. Elle repose sur un lit d'argile siliceuse, avec empreintes de *Stigmaria*, qui a été identifié par M. Smyth avec le *ganister* du Yorkshire, du Derbyshire et du Lancashire.

Un niveau caractéristique est formé par la roche dite *cockshot*, roche quartzeuse, qui prend à l'air une couleur crême. — La veine dite *Mynyddysllwyn*, ou *Llantwit*, l'une des plus connues du bassin, fournit un troisième point de repère. Sa puissance moyenne est de $1^m,65$.

Partant de là, M. Forster Brown, dans un article intitulé : « The Southwales coal field », qui a paru en décembre 1874 dans les mémoires du *Southwales institute*, et auquel j'aurai plus d'une fois recours, divise les coal measures en trois parties :

1° Série de *White ash*, s'étendant du *farewell rock* au *cockshot ;*

2° Pennant inférieur (*lower pennant*) allant du *cockshot* à la veine de *Mynyddysllwyn ;*

3° Pennant supérieur (*upper pennant*), terminant le terrain houiller.

La série de White-ash (cendre blanche) contient les meilleures couches de charbon, et les grand dépôts de minerai de fer argileux. Sa puissance, au centre du bassin, s'élève à 300 mètres. L'affleurement du sud est mieux pourvu que celui du nord : il renferme plus de couches, d'une puissance totale plus considérable ; les minerais de fer y sont également plus riches. — La veine inférieure de cette série porte le nom de *Bottom vein* : c'est celle dont j'ai déjà parlé. — Les autres couches exploitables ont des puissances qui varient de 1 à 3 mètres. on les connaît sous les noms de : *Four feet*, — *Seven feet* — *Nine feet*, etc.

La puissance moyenne du pennant inférieur est de 350 à 400 mètres. Dans quelques régions du sud, elle atteint 900 mètres. Il comprend les bons charbons à vapeur du

district de Llynfi et les charbons bitumineux de la Rhondda Valley. La puissance moyenne de chaque couche ne dépasse pas 1 mètre.

Le pennant supérieur possède une puissance des plus variables. Dans le sud-est du Glamorganshire, elle est environ de 150 mètres, tandis qu'au voisinage de Neath elle dépasse 360. Outre la veine de Mynyddysliwyn, qui en forme la base, on y trouve des couches bitumineuses, exploitées à Swansea et à Neath, dont la puissance moyenne est de $0^{m},30$.

Les deux étages du pennant renferment de nombreuses couches du minerai de fer dit blackband.

La puissance totale du terrain houiller dépasse, non compris le calcaire carbonifère, 1.100 mètres.

On compte, dans la partie occidentale, d'après un rapport de la Royal coal commission :

			mèt.
Dans le Whith ash.	31 couches d'une puissance totale de.		21
Dans le Pennant inférieur.	26	id.	14
Dans le Pennant supérieur.	26	id.	20
Totaux	83	id.	55

Mais il s'en faut de beaucoup que toutes ces couches soient exploitables, et d'ailleurs aucune d'elles ne s'étend sur toute la surface du bassin.

Stratification. — Failles.

Le bassin du Southwales (Pl. X, *fig.* 19), fortement allongé suivant une direction Est-Ouest, présente une série d'ondulations peu considérables, affectant la même direction. Une ligne de soulèvement part de Risca, sur l'affleurement oriental, et se dirige, avec une course légèrement sinueuse, par Pontypridd et Maesteg, jusqu'à la baie de Swansea. Elle s'enfonce dans la baie, entre Port-Talbot et Briton-Ferry, passe sous la presqu'île de Gower, et paraît se continuer ensuite dans la région tourmentée du Pembrokeshire. Le

bassin se trouve ainsi divisé en une portion nord et une portion sud, et chacune de ces portions, relevées aussi bien vers l'affleurement que vers la ligne de soulèvement, affecte la forme d'un fond de bateau.

La courbure moyenne est beaucoup plus forte au sud qu'au nord : car d'une part, la ligne de soulèvement est assez rapprochée de la limite méridionale, et de l'autre, le prolongement des couches, qui varie vers l'affleurement du nord de 1/12 à 1/6, s'élève au sud à 1/4 et 1/2.

Il en résulte que le soulèvement a rapproché de la surface les parties des couches qui se trouvaient à la plus grande profondeur. Ce soulèvement ne doit pas être étranger à la formation de la presqu'île de Gower, et peut-être la presqu'île de Pembroke, si fortement dessinée par l'estuaire de Millford, lui doit-elle également naissance.

Les failles sont très-nombreuses dans tout le district, mais spécialement dans l'isthme qui rattache la presqu'île de Gower à la terre. Toutes les failles reconnues en ce point sont presque exactement Nord-Sud, et la plupart sont de petite taille. Un peu plus à l'Est, c'est-à-dire entre la vallée de la Tawe et celle de Llynfi, les failles sont moins nombreuses, mais plus importantes. Il semble qu'il y ait eu en ce point des phénomènes notables d'affaissement. Plus à l'Est encore, dans la région d'Aberdare et de Merthyr, la direction des failles s'incline sensiblement vers le Nord-Ouest, et à l'extrémité orientale du bassin, leur direction moyenne est N. 35° O. Les vallées orientales ont à peu près la même direction, tandis que du côté de Swansea, les vallées forment avec les failles des angles d'au moins 60°.

On voit, par ces indications, que la formation des vallées n'est pas, au moins d'une manière immédiate, la conséquence de celle des failles, et que celles-ci correspondent à deux faisceaux distincts : le faisceau oriental, dirigé, comme les vallées de la même région, N. 35° O., — le fais-

ceau occidental, dirigé Nord-Sud, tandis que les vallées de
est vont du Nord-Est au Sud-Ouest.

ajouterai que la ligne de soulèvement (ligne *anticli-*
) présente dans son ensemble, une courbure très-sen-
dont la concavité se dirige vers le nord, et que dans
ses points elle reste à peu près perpendiculaire aux
es. Au point où cette ligne disparaît dans la baie de
nsea, la perpendicularité semble rigoureuse. Lorsqu'on
ve au lambeau du Pembrokeshire, on trouve des failles
ie direction toute différente : elles sont sensiblement
ouest, comme le serait le prolongement de la ligne
clinale. En même temps les couches plongent fortement
le sud, ce qui semble indiquer que le soulèvement de
gne anticlinale s'est trouvé remplacé en ce point par un
ssement de même direction, qui a déterminé la pro-
tion des failles est-ouest.

'allure tourmentée des couches du Pembrokeshire se
ache sans doute à la proximité des roches éruptives.
masse de greenstone de 5 kilomètres de long et
o mètres de large, court sans interruption le long de
ordure méridionale, entre les baies de Caemarthen et de
t-Bride. De la Bèche (*Geological observer*) cite quelques
nples curieux de renversement et de plissement des
ches dans cette région. C'est ainsi qu'à Tenby, au bord
la baie de Caemarthen, le calcaire carbonifère paraît
oser sur les coal measures. A Milford-Haven, on voit le
x grès rouge couché sur le calcaire carbonifère, et
i-ci à son tour sur les coal measures. Vers le sud, une
e considérable jette les coal measures contre les roches
riennes inférieures. Vers le nord, une autre faille les
tte au contact des roches cambriennes.

l serait intéressant de connaître avec exactitude l'é-
ue de l'apparition des roches éruptives. Cette question
pas encore été résolue, parce que les terrains posté-
rs au terrain houiller n'existent pas dans le voisinage.

Si l'on admet que les failles ont été la conséquence de l'éruption, on peut remarquer qu'au voisinage de Cardiff, ces failles se font sentir jusqu'au lias inclusivement. On serait ainsi conduit à penser que les grandes perturbations du Southwales, se sont produites au plus tôt à l'époque secondaire. Mais cette conclusion est par trop hypothétique. Je crois d'ailleurs, que la courbure de la ligne anticlinale doit être attribuée à deux efforts superposés : l'un dirigé est-ouest, l'autre perpendiculaire aux vallées orientales et dirigé par suite E. 35° N.

Ce dernier système correspondrait assez exactement à l'estuaire de la Severn, qui s'avance si profondément dans les terres, et il faudrait lui rattacher les anciennes ondulations qui devaient, comme je l'ai dit en parlant du calcaire carbonifère, se prolonger jusqu'au bassin de Bristol. Le système est-ouest serait au contraire l'influence prédominante dans la région occidentale, et se rattacherait à l'apparition des greenstones dans le Pembrokeshire. Sans insister davantage sur l'étude intéressante mais difficile, des systèmes de soulèvement, je renvoie à l'ouvrage de M. É. de Beaumont (*Systèmes de montagnes*, pages 301 et suivantes).

On trouve dans les couches de charbon, des clivages appelés *slips*, qui déterminent des plans de division parallèles; généralement leur direction est N. 30° O., à peu près la même que celle des failles de l'est; ils ont, vers l'ouest, un plongement d'environ trois-quarts. Parfois ils plongent à l'est, et prennent alors le nom de « backs ». Dans la vallée de la Rhondda, il existe des accidents parallèles à la ligne anticlinale, c'est-à-dire dirigés N. 80° O. Il y a alors deux directions de clivage : N. 30° O. et N. 80° O. Dans certaines mines on observe deux clivages perpendiculaires à un troisième qui est vertical. Tout porte à croire que les clivages ont été produits par des efforts de compression.

Produits utiles.

re le charbon et les minerais de fer, les mines du le Galles fournissent différents produits utiles. Presoutes les couches de charbon reposent sur un lit le réfractaire (*underclay*), composé en grande parempreintes de stigmaria. Les argiles du *White ash* es plus estimées. Les grès pennantiens fournissent de matériaux de construction. On rencontre en différents des schistes bitumineux, ou alumineux qui ne sont ne plus exploités aujourd'hui.

minerais de fer sont nombreux, mais généralement horeux; leur teneur ne dépasse guère 35 p. 100 de es plus importants sont les *black-bands* de la série ntienne. Ils renferment à l'état cru :

20,0 à 27,0 p. 100 de fer métallique;
6,0 à 15,0 p. 100 de matière charbonneuse;
0,4 à 0,9 p. 100 d'acide phosphorique.

fer est à l'état de carbonate; après calcination, la tein fer atteint 27 à 57 p. 100.

minerais de la série de *White ash* atteignent une nce totale de plus de 2m,40. Dans les *Farewell rocks* uvent d'autres minerais que j'ai déjà signalés. Le te carbonifère renferme des poches d'hématite égat exploitées. On connaît enfin quelques lits dans le n permien.

qualité des charbons du Southwales varie dans les arges limites, depuis les variétés bitumineuses jusx pures anthracites. La teneur en carbone oscille 70 et 95 p. 100. Les Anglais rangent toutes les vadans trois types principaux qui sont :

L'anthracite;
Le charbon à vapeur;
Le charbon bitumineux.

Les intermédiaires portent le nom de *demi-bitumineux* et d'*anthracite bâtarde*.

D'après les nombreuses analyses qui ont été publiées, mais qui malheureusement ne séparent pas l'hydrogène de l'oxygène et de l'azote, on peut dire : que la catégorie dite *anthracite* comprend à la fois les *anthracites* proprement dites, et les *houilles maigres* de M. Gruner ; — que les *charbons à vapeur* représentent les *houilles grasses à courte flamme*, les *houilles grasses* et certaines catégories de *houilles grasses à longue flamme* ; — que les *charbons bitumineux* comprennent le reste des *houilles grasses à longue flamme*.

Le charbon bitumineux est principalement employé pour la fabrication du coke et du gaz d'éclairage. Au sujet du charbon à vapeur, M. Gruner constate (*Principes de métallurgie*), que les charbons gras du nord de l'Angleterre donnent des coups de feu plus rapides, et permettent de hausser plus rapidement la pression de la vapeur ; mais par contre, qu'ils durent moins au feu, et développent en somme moins de chaleur. Quant à l'anthracite, sa difficile inflammation et sa tendance à décrépiter rendent son emploi peu commode. En revanche, elle peut, suivant M. Frankland, évaporer jusqu'à 12,43 fois son poids d'eau. Elle résiste bien aux actions purement mécaniques, occupe peu de place, ne produit pas de fumée, ne renferme pas de soufre et ne fermente pas. Il faut avoir soin, quand on l'emploie, de tenir le feu peu épais, et compter au moins 9 à 10 décimètres carrés de grille par cheval vapeur. L'anthracite attaque sensiblement les grilles ; mais les autres charbons les attaquent presque de même, soit par la formation de mâchefer, soit à cause de la haute chaleur développée (voir aux *Annales de* 1859, un article de M. Couche sur ce sujet).

Variations de qualité du charbon.

L'un des faits les plus remarquables que présente le

ssin du Pays de Galles est le passage graduel entre les fférentes qualités de charbon. Les couches supérieures nt ordinairement les plus bitumineuses, les couches férieures tournent à l'anthracite. Mais c'est surtout d'un int à l'autre d'une même couche que les variations sont noter. Les charbons du Pembrokeshire sont tous anthra-eux. A partir de la presqu'île de Gower, apparaissent s autres sortes et, en se bornant aux couches principales, arrive à une répartition très-nette (Pl. X, *fig.* 18). Une ne sinueuse, tracée de Neath à Pontypool, parallèle-ent à la ligne anticlinale, et suivant à peu près l'axe du nd de bateau septentrional, limite au nord la région des arbons bitumineux, qui occupent ainsi toute la partie uée entre Swansea, Cardiff et Pontypool. Menant une conde ligne perpendiculaire à celle-là, vers le milieu de longueur, depuis Ferndale jusqu'à un point intermé-aire entre Hirwain et l'origine de la Neath, on trouve à st de cette ligne, la région des charbons à vapeur, à uest, celle de l'anthracite. Les charbons bitumineux oc-pent à peu près 1.050 kilomètres carrés; l'anthracite en cupe autant (en y comprenant le Pembrokeshire). Les arbons à vapeur ne dépassent pas une surface de 460 ki-mètres.

Pour expliquer ces changements de qualité, on a parlé frottement et des pressions résultant, soit du poids des uches supérieures, soit des efforts latéraux, soit des istances intérieures. D'autres ont fait intervenir une luence électrique. D'autres encore prétendent que, par te de l'amincissement du grès rouge vers l'ouest du ssin, les coal measures se sont trouvées rapprochées des luences volcaniques, manifestées par les roches ignées Pembrokeshire. Je crois que dans tous les cas, les érup-ns n'ont pu agir que par les brisements et les frotte-nts auxquels elles ont donné naissance, ce qui ramène premier mode d'explication.

D'après une autre théorie, l'anthracite serait l'état limite d'une série de transformations spontanées, dues au départ de l'hydrogène et surtout de l'oxygène, qui amèneraient la matière végétale à l'état de houille de plus en plus maigre. Pour expliquer comment en certains points on trouve d'autres qualités que l'anthracite, il suffit alors de supposer qu'à un moment donné, la superposition d'un lit sableux ou argileux est venue empêcher les transformations ultérieures. Mais cette théorie, lors même qu'elle serait fondée, ne rend aucun compte de la répartition si nette des diverses qualités dans le Pays de Galles.

Résumé.

Il ressort de l'étude précédente qu'on peut distinguer dans le Pays de Galles :

Au point de vue topographique, deux régions de vallées, séparées par une partie relativement élevée, à savoir la région de l'ouest, avec vallées N. E.-S. O., et la région de l'est, avec vallées N. O.-S. E.

Au point de vue des dislocations, deux régions caractérisées par des directions de failles différentes : la région de l'ouest, avec failles N.-S.; la région de l'est, avec failles N. 30° à 35° O.

Au point du vue de la composition des couches, vers l'affleurement du nord ; deux régions : celle de l'anthracite, à l'ouest; celle des charbons à vapeur, à l'est. Ces deux régions viennent se confondre, du côté du sud, dans la grande zone des charbons bitumineux, dont la ligne anticlinale marque l'axe.

Si on indique les résultats sur une même carte, on reconnaît que les systèmes de régions coïncident dans les trois cas. Le point le plus haut du terrain houiller, le Garnfach, dont divergent en quelque sorte les faisceaux de vallées et de failles, se trouve presque exactement sur la ligne de séparation des charbons anthraciteux et à vapeur.

DEUXIÈME PARTIE.

EXPLOITATION.

ans cette seconde partie, exclusivement technique, je cherai moins à donner une description complète du ail des mines dans le Pays de Galles, qu'à signaler les ts les plus intéressants ou les plus nouveaux. Je suivrai u près l'ordre adopté dans le *Cours d'exploitation de le des mines.*

Sondages. — Fonçage des puits.

epuis deux ou trois ans, il a été fait, en différents points assin, plusieurs sondages au diamant qui ont parfaite-t réussi. Les travaux ont été dirigés par M. A. Bassett, a communiqué à la société des ingénieurs du Southwales résultats suivants.

appareil employé porte une couronne de $0^m,078$ de dia-e, garnie de 12 à 15 diamants. Son prix est de 1,000 à o francs. Un autre appareil, pourvu d'une couronne de 53, avec 12 diamants, coûte seulement 625 à 750 francs. couronne tourne dans les deux cas avec une vitesse de à 300 tours par minute.

ans la traversée des terrains meubles ou caillouteux de rface, on emploie une couronne de $0^m,125$. Grâce à dont on fait usage, il se déplace une quantité de ma-suffisante pour qu'on puisse ensuite introduire des s de $0^m,15$. Ces tubes sont en fonte, de 3 à 4 milli-es d'épaisseur. Pour les grandes profondeurs on emploie tubes de moindre diamètre.

uand le terrain est solide, on peut creuser d'une manière inue une profondeur de $4^m,20$ à $4^m,50$. Dans d'autres

cas, on s'est vu obligé d'interrompre avant d'avoir avancé de $0^m,15$. A une profondeur de 225 mètres les tiges peuvent être retirées et disjointes, une nouvelle couronne adaptée, et le tout remis au fond, en moins de deux heures. A 300 mètres, il faut au moins trois heures. Sur une journée de neuf heures, on n'emploie guère, en moyenne, plus de deux heures et demie à trois heures et demie au percement effectif.

Actuellement, la machine motrice est fixée immédiatement au-dessus du trou, mais on doit changer bientôt les dispositions, de manière à placer la machine plus loin, ce qui facilitera les manœuvres.

A Risca, sur la limite orientale du bassin, le sondage au diamant a été employé pour évacuer les eaux de deux puits en foncement, chacun de $4^m,25$ de diamètre. On a établi par ce moyen un écoulement dans les travaux inférieurs. A 35 mètres de profondeur, ces deux puits avaient rencontré une venue d'eau de 400 litres par minute, et, à partir de ce moment, il était devenu impossible de creuser plus de $0^m,60$ par semaine. C'est alors que les propriétaires ont eu recours au sondage préalable; ils ont pu ainsi doubler la vitesse de foncement.

L'application la plus récente qui soit signalée par M. Bassett, remonte au mois de décembre 1874. On a creusé, à une profondeur de $76^m,40$, une longueur de $1^m,28$ en vingt-trois minutes, soit une vitesse de près d'un millimètre par seconde.

La vitesse de rotation était de 275 tours par minute. La tige se composait de 12 pièces, longues chacune de $5^m,86$. Pour prendre un témoin, on faisait le relevage en vingt et une minutes : dix minutes après, la couronne était enlevée, et le témoin séparé. Le temps de la descente était deux tiers de celui de la montée.

En réunissant tous les exemples cités, on trouve qu'en 191 jours, il a été percé une longueur de 789 mètres,

et, par suite, l'avancement moyen, en comptant par semaine 6 jours de 9 heures de travail, a été de 0^m,53 par heure.

La perforation au diamant a été appliquée directement pour le fonçage des puits. Dans le puits Hœrris, près Quaker's yard, on creusait une série de trous, de 1^m,05 de profondeur, assez rapprochés pour qu'on pût ensuite faire sauter le fond sur la même hauteur. En cinq heures, tous les trous étaient prêts, et le tirage à la poudre, le déblayement des matériaux, pouvaient s'accomplir dans le reste des vingt-quatre heures. Le diamètre du puits était de 5^m,10.

On espère, en apportant quelques modifications à la machine, et principalement en remplaçant le fer par l'acier, obtenir un appareil assez léger pour être mis en place dans un temps très-court. Pour simplifier le montage et le démontage, la longueur des tiges doit être portée de 6 mètres à 15 mètres, avec assemblages en acier.

Le fonçage au diamant est encore, à vrai dire, dans la période des essais. On a également essayé, avec plus ou moins de succès, les appareils Burleigh et autres du même genre. Dans la majorité des cas, on recourt encore aux anciens procédés.

J'ai eu l'occasion d'étudier, dans la vallée d'Aberdare, à 2 kilomètres en aval de Mountain-Ash, le foncement du puits dit *Penrhiwceiber*, appartenant à la compagnie Cory brothers, de Cardiff.

Le puits est circulaire, de 4^m,95 de diamètre intérieur. Il sera maçonné sauf sur une longueur de 5^m,40, qui doit être cuvelée en fonte. Le fonçage, commencé depuis quatre ans, est arrivé à une profondeur de 208 mètres. La profondeur totale doit être de 468 mètres. On a déjà installé la pompe du Cornwall et la machine d'extraction. L'une et l'autre, grâce à des dispositifs faciles à imaginer, sont, en ce moment, employées pour l'épuisement. Il y a en outre,

deux pompes d'épuisement provisoires. La venue d'eau s'élève à 800 litres par minute.

Le travail est fait par dix hommes, renouvelés trois fois en vingt-quatre heures. Chaque homme est payé 3 francs par poste. Ils forent les trous au fleuret, et tirent les coups à la dynamite. On emploie par vingt-quatre heures 7 kilos de dynamite quand on travaille dans le roc. La dynamite revient à 5 francs le kilog.

Le cuvelage doit être posé à partir du niveau 185, auquel s'arrête la maçonnerie déjà faite. Restent 23 mètres de parois complétement dégarnies, par lesquelles l'eau arrive à torrents. Pour protéger les ouvriers, on a recouvert cet espace d'une sorte de manchon en toile goudronnée, descendant verticalement jusqu'au fond. Les pompes d'épuisement font le reste.

En réalité, on fonce à la fois deux puits, absolument identiques. Les frais d'épuisement se chiffrent, pour l'ensemble, par une dépense de 120 tonnes de charbon par semaine, ou de 10 tonnes par puits et par vingt-quatre heures. La vitesse moyenne d'avancement est de $1^m,82$ par semaine quand on travaille dans le roc, et de $4^m,55$ dans les schistes.

Sans insister sur le détail de la maçonnerie et du cuvelage, je dirai seulement que par mètre courant de maçonnerie, on place 2,800 briques à $56^f,25$ le mille, soit $173^f,25$ de dépense. Le coût du mortier peut être évalué à 1/5 du coût des briques, ou à $34^f,65$. — Les frais de main-d'œuvre, de combustible et de dynamite, s'élèvent, par mètre, à 1,137 francs dans le roc. La dépense totale, non compris les frais accessoires, est donc de 1,345 francs par mètre courant. L'élévation de ce prix provient surtout de la main-d'œuvre, rendue très-coûteuse par la position pénible dans laquelle se trouvent les hommes.

Emplacement des puits.

L'emplacement des puits est une question fort impor-
nte, surtout lorsque la couche présente une inclinaison
nsible. Supposons une couche ayant une pente de 1/2, et
ésentant un champ d'exploitation de 1.200 mètres, sui-
nt la ligne de plus grande pente. Il serait à peu près im-
ssible d'enlever tout par un seul étage. Dans ce cas, on
euse le puits de manière qu'il rencontre la couche à
o mètres du point le plus bas, et on trace, à partir du
int de rencontre, une galerie de direction qui sert à en-
ver tous les charbons à 300 mètres au-dessus et 300 mè-
s au-dessous (Pl. X, *fig.* 10). Quand cette exploitation
t terminée, on fait un nouvel étage au moyen d'un tra-
rs-bancs aboutissant vers le milieu des 600 mètres qui
stent encore intacts. On évite ainsi les puits trop pro-
nds, les travers-bancs trop multipliés et les plans inclinés
plus de 300 mètres. En revanche, la moitié du charbon
t exploitée en vallée, au moyen de tractions mécaniques.
uand l'inclinaison est très-faible, on ne peut plus diviser
couche en deux étages. Tout le charbon est alors ramené
une galerie unique située vers le milieu du gîte.

Il semble que, dans ce dernier cas, on aurait avantage
faire tomber le puits sur la région la plus profonde, car
charbons suivraient partout une marche descendante
ns que la longueur du puits fût trop augmentée, et sans
e la grandeur des plans inclinés présentât beaucoup
nconvénients. Mais le plus souvent, la question se pré-
nte d'une autre manière. Les puits, creusés depuis de
igues années, ont été faits pour exploiter l'amont pen-
ge. Aujourd'hui, l'amont pendage étant épuisé, il faut
endre le charbon en aval. Or il est plus avantageux, étant
nnées les tractions mécaniques de se résigner à une ex-
oitation en vallée que de creuser de nouveaux puits ou

d'approfondir les anciens et de faire de nouveaux travers-bancs.

L'exploitation en vallée était la seule pratiquée à l'époque où l'on se contentait de prendre les affleurements. Cela avait lieu principalement aux affleurements du nord, entre les vallées de Neath et de Rhymney. On retrouve encore ce mode de travail appliqué à l'extraction des minerais de fer argileux ou des argiles réfractaires (Maesteg, Aberaman, etc.)

L'emplacement des puits n'est pas toujours déterminé par les considérations qui précèdent. Très-souvent les accidents de la surface et les divisions de propriété obligent à les creuser dans des positions peu avantageuses.

Méthodes d'exploitation.

Dans la plus grande partie du bassin, l'inclinaison des couches est très-faible. Elle ne s'accentue qu'au voisinage des affleurements, surtout de l'affleurement du sud. Partout les couches exploitées sont de moyenne puissance et peuvent être prises en une seule fois.

Dans le cas des inclinaisons faibles, on applique toujours les méthodes par remblai. Après un traçage effectué au moyen de longues galeries ou headings, à peu près dirigées suivant la pente, distantes l'une de l'autre de 60 à 80 mètres, et reliées par des galeries perpendiculaires, on dépile les massifs intermédiaires, soit par *chambres*, soit par *grandes tailles*.

Dépilage par chambres (*stalls*). — On laisse le long des grandes galeries une série de massifs de protection, puis on ouvre, perpendiculairement aux galeries, des chambres de 11 à 12 mètres de largeur, séparées par des piliers de même largeur. A mesure qu'on avance les fronts de taille, on jette en arrière les matières stériles que fournissent le remblai. On ménage dans ces remblais une galerie destinée

à assurer les communications et l'aérage. Parfois on réserve deux galeries. La largeur des chambres est alors portée à 20 mètres et on donne 13 à 14 mètres aux piliers intermédiaires.

Quand les chambres sont achevées, on procède à l'enlèvement des piliers. Les massifs de protection sont conservés jusqu'à ce qu'on n'ait plus besoin des galeries correspondantes. La *fig.* 1, Pl. X, montre la disposition générale du travail. Les galeries de traçage sont partiellement remblayées : on les perce d'abord sur une largeur aussi grande que le permet la solidité du toit, puis on les ramène par le remblayage à une largeur de 2 mètres.

Cette méthode s'applique surtout aux couches de la série pennantienne. Elle tend, depuis quelques années, à disparaître devant la suivante.

Dépilage par grandes tailles (*long-wall*). — Cette méthode qui, suivant M. F. Brown, augmente la production de gros, simplifie la ventilation et diminue le travail des ouvriers, s'emploie chaque fois que le toit est assez solide pour pouvoir être maintenu simplement par quelques chandelles et pour s'affaisser avec lenteur en arrière du front de taille. Parfois, au contraire, c'est à cause des trop grands mouvements du toit que la méthode des grandes tailles devient une nécessité, parce que les piliers réservés se détérioreraient trop vite; mais alors l'application est difficile, et il faut un avancement rapide pour que le toit n'ait pas le temps de se briser.

On opère d'habitude par tailles montantes, les fronts de taille s'étendant perpendiculairement aux *headings*. Mais ceci n'a rien d'absolu, et dans les couches presque horizontales, on ne se préoccupe guère de la pente. Ainsi, dans la mine d'Aberaman (vallée d'Aberdare) on trace, perpendiculairement aux *headings*, des galeries de second ordre; puis les unes et les autres sont avancées simultanément dans le charbon, le front de taille présentant alors une forte

courbure. L'aérage est dirigé de manière à balayer les fronts de taille dans toute leur longueur (Pl. X, *fig.* 2).

En regardant le plan d'une mine exploitée depuis plusieurs années par la méthode des grandes tailles, on distingue facilement un triple système de galeries :

1° Les grandes galeries de roulage, espacées en moyenne de 90 à 100 mètres, qui aboutissent à la *mère-galerie ;*

2° Les galeries de traçage, ou *headings*, reliant les voies de roulage au front de taille. Leur écartement est de 20 à 30 mètres.

3° Les galeries de travail, aboutissant aux *headings* et distantes de 8 à 10 mètres.

A mesure que le travail avance, on remblaye la plupart des galeries de travail.

Le système des grandes tailles a été d'abord employé pour les couches de la série de White ash, et spécialement pour le *Four feet* d'Aberdare. Aujourd'hui on le rencontre un peu partout.

Presque toujours, dans le Pays de Galles, le toit travaille énormément, et l'on a été conduit dans beaucoup de mines à un mode de remblayage fort coûteux. De place en place, on élève des piles de bois, formées par des morceaux ronds ou équarris de $0^{m},60$ de longueur, disposés en échafaudage (Pl. X, *fig.* 5). Dans les intervalles de ces piles, on accumule à la pelle les menus et les stériles, parfois même on y jette des morceaux de bois.

Dans une des plus belles mines du pays, celle de Lower Duffryn (vallée d'Aberdare), on consomme parfois jusqu'à 100 kilog. de bois par tonne de houille extraite. Ce bois revient à $30^{f},50$ la tonne. On dépense donc $3^{f},05$ de bois par tonne de houille. Ce chiffre est heureusement exceptionnel. Il n'en est pas moins évident qu'il y a là une source de frais considérables. Les exploitants prétendent que tout autre système ne résisterait pas à la poussée des terres.

Lorsque les couches sont fortement inclinées, on donne la préférence aux méthodes par foudroyage. Le district dans lequel ce cas se présente spécialement s'étend le long de l'affleurement méridional, entre Port-Talbot à l'ouest et Llantrissaint à l'est. Il a été étudié par M. Robson, dans les *Proceedings of the Southwales institute*.

Si le charbon est tendre, avec un mauvais toit et un mauvais mur, on fait un traçage par des galeries suivant la direction et la plus grande pente, de manière à découper des piliers carrés de 9 mètres de côté. On poursuit ce traçage jusqu'à ce qu'on soit éloigné de la mère-galerie, tracée en direction, de 60 à 70 mètres. Toutes les galeries sont étroites et boisées avec soin. On procède ensuite au dépilage sans remblai, à partir du haut, et l'on bat en retraite vers la mère-galerie. Dès que les premiers piliers sont enlevés, le toit travaille fortement, brise les piliers suivants, et oblige à recouper et reboiser fréquemment les galeries. M. Robson diminue cet inconvénient en donnant aux piliers 18 mètres de côté et les faisant ensuite attaquer par le milieu, de manière à dépiler le plus vite possible. Les postes sont doublés pendant le dépilage. Vu la déformation des galeries, il serait impossible d'établir des plans automoteurs; on se contente de garnir de planches le sol des galeries montantes, et d'y faire glisser le charbon en le poussant avec la pelle.

Si l'on se trouve au contraire, dans les conditions les plus favorables, charbon solide et bon toit, on fait le traçage par massifs longs en inclinaison, de $4^{m},50$ de largeur, séparés par des galeries à peu près aussi larges, le long desquelles le charbon descend par son propre poids. Ce système, quelle que soit la solidité du charbon, le détériore toujours plus ou moins. C'est pourquoi M. Robson revient au système abandonné, sous prétexte d'économie, des massifs longs disposés horizontalement et desservis par des plans inclinés. Il donne aux massifs 70 à 80 mètres

de longueur, 13 à 14 mètres d'épaisseur, et les sépare par des galeries de 4 à 5 mètres. Les massifs sont enlevés par bandes inclinées de 3^{m},60 de large.

Dans certains cas, on a appliqué une méthode se rapprochant de celle des grandes tailles, mais sans remblai. On établit alors (Pl. X, *fig.* 3) un plan incliné ABC, garanti par des piliers intacts, et l'on dépile en abattant les tailles montantes TRS, T'R'S', par une série de refends tels que TR, T'R'. Le front de taille est garanti par des butes mobiles. D'autres butes, fixes, assurent le retour d'air le long des parois de l'excavation.

Le choix des méthodes de foudroyage, dans le cas des couches inclinées, serait difficile à justifier par l'inclinaison même des couches. Il provient de ce que les stériles sont moins abondants dans le district où les couches sont inclinées que dans le centre du bassin. D'abord la puissance moyenne des couches y est un peu plus grande, puis les charbons qu'on y emploie sont presque tous bitumineux. Or les charbons bitumineux sont totalement extraits, tandis que, dans le cas des charbons à vapeur, les exploitants, sous prétexte qu'on n'a pas encore trouvé l'emploi des menus peu collants, extraient seulement le gros et laissent tous les menus dans les remblais. Il n'est pas douteux qu'on pourrait, en vendant ces menus, couvrir au moins les frais de leur extraction; mais leur abandon est tellement entré dans les usages, qu'un industriel français ayant proposé à un propriétaire de lui acheter tous les menus de sa mine, s'est vu refuser, sous prétexte que les mineurs ne consentiraient jamais à un pareil dérangement dans leurs habitudes. La proportion de menus ainsi abandonnée est évaluée à 15 p. 100. Il ne paraît pas qu'il en soit jamais résulté d'incendies.

Abatage.

L'abatage se fait par les procédés ordinaires. Quand la

couche est homogène, on creuse les trous de mine, soit à a base, soit au sommet. Quand elle est composée de différents lits, on creuse dans les parties les plus tendres. Les clivages dont j'ai parlé facilitent beaucoup l'opération, surtout quand on travaille par grandes tailles.

M. Michel Lévy (Mémoire d'élève ingénieur, 1866) cite l'exemple suivant : dans la mine de Navigation, près Mountain ash, le charbon présente trois feuilles : deux à intersection horizontale et parallèle au front de taille, une verticale et perpendiculaire au front. On subdivise celui-ci en quatre parties de 4 yards de large, par des plans parallèles à la feuille verticale. Les parties de gauche restent en retard sur celles de droite. Dans chaque partie, le front étant d'abord en AC (Pl. X, *fig.* 6), on fait un havage limité à la feuille *mn*. On fait tomber la partie A*mn*, qui se trouve alors en surplomb, puis on pousse le havage jusqu'à la feuille AE. Enfin, avec des leviers, on abat la partie AEα, limitée à la feuille Eα, parallèle à AC. On avance d'une longueur égale à EC la partie inférieure de la couche, laissée à 2 mètres en arrière pour faciliter le changement, et l'on se trouve ramené aux conditions primitives.

Les machines haveuses sont encore peu connues dans le pays de Galles. Néanmoins on a fait, dans une ou deux mines, l'essai de différents systèmes : Firth, Baird, etc. Les résultats ont été satisfaisants, et l'on a trouvé que l'emploi des haveuses diminue sensiblement la proportion de menus.

Dans les parties où de soudaines irruptions de grisou rendent dangereux le tirage à la poudre, on a parfois appliqué l'appareil hydraulique de Chubb.

Roulage.

L'usage, dans le Pays de Galles, est d'amener les chevaux et les wagons jusqu'au front de taille : on entaille au besoin le toit ou le mur des galeries sur une hauteur

suffisante pour leur donner passage. Cependant quand le toit et le mur sont trop durs, on renonce parfois à les entailler, et l'on se sert alors de wagonnets à main.

Les galeries de roulage sont bien entretenues. Les mères galeries sont à deux voies et ont une largeur de 5 à 6 mètres. Le plus souvent, elles sont entièrement muraillées, tout au moins sont elles boisées avec le plus grand soin. Les galeries secondaires ont 2^{m},50 à 3 mètres de largeur. Au début, le toit travaille énormément et doit être recoupé plusieurs fois. Mais quand le tassement est produit, le toit se maintient bien, et reste souvent sans boisage sur une grande étendue.

Les wagons employés peuvent se distinguer en :

	kilog.		kilog.
Petits wagons contenant.	300	à	500
Grands wagons contenant.	900	à	1.350

Les grands wagons présentent, au point de vue du poids mort, un avantage assez notable. Ainsi, à Cwmneol, les wagons pèsent 136 kilog. et contiennent 300 à 350 kilog., ce qui donne, pour le rapport de la charge au poids mort, environ 2,57, tandis qu'avec les grands wagons de Dowlais, pesant 400 kilog. et contenant 1.000 à 1.100 kilog., ce rapport s'élève à 2,60. En revanche, l'emploi des petits wagons traînés, comme dans la Northumberland, par des poneys, et conduits par des gamins, depuis les fronts de taille jusqu'aux mères-galeries, diminue les frais d'exhaussement des galeries et la main-d'œuvre du roulage. En même temps, les petits wagons permettent d'employer des rails plus légers ; ils sont plus faciles à charger aux fronts de taille et à manier aux recettes, etc. A Cwmneol, la dépense d'extraction de 150 tonnes de charbon était de 115^{f},80 avec de grands wagons. Elle est abaissée à 38^{f},80 avec des petits.

En somme, dans les conditions générales des mines du Pays de Galles, c'est-à-dire avec des couches d'une bonne

puissance *moyenne* et assez horizontales pour qu'on puisse amener les wagons jusqu'aux fronts de taille par roulage ordinaire, les petits wagons paraissent les plus avantageux. Au contraire, avec les couches fortement redressées, en avec des couches puissantes, dans lesquelles il n'y s de raison de faire des galeries peu élevées, les ls wagons se prêteraient sans doute à un roulage économique. Pour certains charbons à vapeur, les ls wagons conviennent seuls à la tailles de morceaux l'on cherche à obtenir.

elles que soient les dimensions des wagons, ils sont urs chargés *comble* : ainsi, pour une capacité de kilog., on ajoute une surcharge de 250 à 300. le nord de l'Angleterre, au contraire, le wagon est gé seulement jusqu'à ce que le charbon affleure, et ne la surcharge demande au mineur plus de temps travail que la charge proprement dite, il faut voir là des raisons qui rendent la production individuelle le Nord bien supérieure à celle du Pays de Galles.

ur les couches bitumineuses dans lesquelles on tient à ire le menu destiné à la fabrication du coke, les parois wagons sont jointives. Pour les charbons à vapeur, tout le menu est laissé dans les remblais, les parois formées de barres de fer plat, discontinues. Il y a exon dans quelques mines, dont les galeries sont bien es et bien entretenues.

Tractions mécaniques.

troduites assez tard dans le Pays de Galles, les tracmécaniques s'y sont développées rapidement, et ont is de généraliser les exploitations en vallée.

système ordinaire est celui de la corde queue. Il y a tant quelques exemples de chaîne sans fin. L'un de xemples à été décrit en détail dans un rapport des

ingénieurs du nord de l'Angleterre (traduit en français par MM. Briard et Weiler). Il est emprunté à la mine de Brynddu, située vers l'affleurement du sud, entre Tondu et Port-Talbot, c'est-à-dire dans la région où les couches sont le plus fortement redressées. La chaîne sans fin dessert un plan incliné suivant la ligne de plus grande pente (inclinaison 1/2) et long de 550 mètres. Le moteur est placé au sommet et agit sur une poulie horizontale qui fait mouvoir la chaîne. Il y a le long du plan incliné huit stations à chacune desquelles peuvent se faire les manœuvres, grâce à une sorte de pont levis, qu'on abaisse horizontalement sur la voie pour recevoir les wagons. La chaîne pèse $20^k,32$ par mètre courant. Elle fait $53^m,70$ par minute. Les chariots sont écartés de 45 mètres. Leur poids mort est de 508 kilog., et la charge contenue de 762 kilog.

Je renvoie, pour plus de détails, à l'ouvrage précité. La disposition de Brynddu paraît, en somme, la plus convenable dans les conditions où on l'applique, c'est-à-dire avec un plan fortement incliné qui dessert de nombreux embranchements dépourvus de traction mécanique.

Beaucoup de tractions par corde queue desservent, comme la précédente, un simple plan incliné. Souvent aussi le service comprend un ensemble plus ou moins complexe de voies montantes et de galeries de niveau. Les trains sont amenés du front de taille aux stations d'accrochage par des chevaux que conduisent les rouleurs ou « *hauliers.* » Dans les galeries à chevaux, les rails sont légers et pourvus d'un patin qu'on fixe sur les traverses par des clous à large tête, Pour les grandes voies de traction mécanique, on préfère les rails à double champignon.

La machine motrice est simple, massive et de petite taille. Le volant est relativement considérable. Le cylindre, presque toujours unique, est placé horizontalement; il a 30 à 35 centimètres de diamètre et 40 à 45 de longueur. La manivelle est remplacée par une courbure

donnée à l'arbre principal, au point où il reçoit la bielle. La vitesse de rotation est considérable, afin de compenser la petitesse du cylindre; elle atteint 100 à 150 tours par minute.

Les câbles sont le plus souvent en fer. Néanmoins l'acier est regardé comme plus économique pour les longs parcours et il est adopté dans quelques cas. Les signaux se donnent au moyen de lourds marteaux frappant sur des plaques métalliques. On se sert parfois de signaux électriques.

Dans quelques mines appartenant à la compagnie Powell's Duffryn, les tractions mécaniques se font aujourd'hui à l'air comprimé. C'est une complication qui doit diminuer le rendement et augmenter les frais de premier établissement et d'entretien, mais on y trouve l'avantage d'améliorer la ventilation, de supprimer les déperditions de vapeur dans les tuyaux de conduite ou les inconvénients assez graves d'une chaudière intérieure, de desservir avec facilité plusieurs machines indépendantes, etc. Dans le cas de la corde-queue, le seul qui ait à nous occuper ici, l'air comprimé présente une raison d'être plus importante; le réservoir d'air comprimé fonctionne comme un véritable accumulateur de travail qui, alimenté d'une façon *constante* par la chaudière et le compresseur, dépense *irrégulièrement*, suivant les besoins du roulage. On parvient ainsi, avec un appareil de dimensions modérées, sans le faire jamais sortir de son fonctionnement normal, à produire, dans un temps très-court, un travail considérable.

Pour établir la valeur réelle de l'économie obtenue, il faudrait pouvoir comparer, dans des conditions analogues, les résultats par la corde-queue ordinaire et par la corde-queue marchant à l'air comprimé. Ceci est malheureusement impossible, parce que, dans chaque mine, on fait concourir tous les générateurs à chacun des services, et que par suite on connaît seulement la consommation totale

de combustible. Il serait désirable que des expériences précises fussent entreprises à cet égard.

La mine de Lower Duffryn, près de Mountain Ash (vallée d'Aberdare) fournit un bel exemple de traction à l'air comprimé. Le compresseur se compose de deux cylindres à vent horizontaux dont les axes sont sur le prolongement de deux cylindres à vapeur. Les cylindres à air sont rafraichis extérieurement par des bâches d'eau. Les cylindres à vapeur, en même temps qu'ils compriment l'air des deux autres cylindres, font tourner un arbre de couche, qui porte un volant de 27 tonnes et commande la distribution. Cet arbre fait 30 tours par minute.

Les cylindres à vapeur ont $0^{m},85$ de diamètre, les cylindres à vent $0^{m},74$. La différence est donc en sens inverse de celle qu'on observe dans les machines soufflantes. Elle a pour but de permettre une détente prolongée de la vapeur, malgré la pression de 272 kilogrammes par décimètre carré, à laquelle l'air est amené dans les réservoirs. La course des pistons est de $1^{m},75$. La distribution de la vapeur se fait au moyen de soupapes soulevées par deux arbres à excentriques qui engrènent avec l'arbre principal. Les soupapes d'admission sont mues par des cames anguleuses qui leur impriment un mouvement brusque. Les soupapes d'exhaustion sont mues par des excentriques à profil continu.

L'air comprimé s'accumule dans deux réservoirs cylindriques de $1^{m},50$ de diamètre sur 9 mètres de long, auxquels il est amené par des tuyaux en fonte de $0^{m},22$ de diamètre. De là il se rend dans la mine par des tuyaux de $0^{m},20$, et il est distribué à deux petites machines à un seul cylindre horizontal de $0^{m},50$ de diamètre et $0^{m},90$ de longueur, qui donnent chacune, par seconde, un coup double de piston.

La couche exploitée est sensiblement horizontale; mais un rejet, qui la traverse dans la partie moyenne du champ

d'exploitation, a placé une portion de celui-ci en contre-bas
· ''accrochage et des grande galeries. (Pl. X, *fig.* 4.) La
'ence de niveau est rachetée par deux plans inclinés
25 mètres de longueur, aboutissant à la galerie prin-
e, à 720 mètres l'un de l'autre. Le puits est également
) mètres du plan le plus rapproché. Le charbon, amené
des chevaux au pied des plans inclinés, est ensuite
é mécaniquement jusqu'au puits. Dans les galeries in-
es, la corde-tête est seule nécessaire. Dans la grande
ie, il faut à la fois une corde-tête et une corde-queue.
manœuvres se font de telle sorte que la même corde-
serve pour tous les trains et que chaque plan incliné
sponde à une corde-queue distincte.

ipposons, pour nous en rendre compte, qu'un train
4 wagons (c'est le chiffre ordinaire), arrive au puits et
destiné à descendre le premier plan incliné. Il se com-
naturellement de wagons vides. Ce train, arrêté dans
lerie en A (Pl. X, *fig.* 15), est fractionné en deux par-
le 7 wagons α et β. On laisse tomber la corde-tête sur
l de la galerie, on attache la corde-queue *à la tête* de
remière partie α, et l'on fait descendre celle-ci sur le
incliné. Les wagons vides, parvenus aux galeries à
aux, sont remplacés par des wagons pleins, qu'on ra-
e ensuite au point de départ. Par une manœuvre tout
t semblable, on substitue 7 wagons pleins à la seconde
ie β. Puis on remet la corde-queue en queue, la corde-
en tête, et le train est prêt à repartir.

s deux cordes sont réunies, pour le grand roulage,
un raccord *mnp* qui s'enroule, en *n*, sur une poulie
^{m},50 de diamètre. La corde-tête suit l'axe de la voie,
is que la corde-queue passe dans un coin. Pendant les
œuvres du premier plan incliné, le câble est ouvert aux
: points *m* et *p*. Comme alors la corde-tête ne sert à
, on peut l'utiliser pour conduire au puits les wagons
is du deuxième plan incliné, et ramener à leur place

des wagons vides; il suffit pour cela d'ajouter en *m* une rallonge et d'avoir une seconde corde-queue, complétement distincte de la première, qui sert en outre aux manœuvres sur le second plan incliné. Quand les wagons vides arrivent à celui-ci, le point de jonction *m* se retrouve à sa position primitive. On détache la rallonge, on rétablit la liaison *mnp*, et l'on conduit au puits le train A, qui a eu le temps de se reformer. Il va sans dire que pendant le roulage du train A, on prépare de la même façon le train du second plan incliné.

Les tractions mécaniques à l'air comprimé commencent à se répandre sur le continent. Dans les mines de Kladuo, en Bohême, j'ai vu (1877) installer un système de ce genre, destiné à un plan incliné de 400 mètres de long. La machine intérieure, beaucoup plus compliquée que celle du Pays de Galles, est formée de deux cylindres verticaux avec distribution à deux tiroirs. Le compresseur, placé à la surface, est du système Colladon et amène l'air à une pression de 5 atmosphères.

Extraction.

Les puits les plus actifs ne produisent guère que 600 tonnes de gros par jour. C'est beaucoup moins que dans le nord de l'Angleterre. On s'explique ce fait en partie par la nature accidentée de la surface, qui, jointe au régime de l'accession, empêche, comme nous l'avons vu, de placer chaque puits dans la position la plus favorable pour la production, en partie par les habitudes de travail des mineurs, qui occupent chacun une grande largeur du front de taille. Grâce à la profondeur des vallées et au soulèvement des couches vers l'axe du bassin, la profondeur des puits est assez faible. Le plus profond, celui de Vochriw, dans la vallée de Rhymney, n'atteint que 396 mètres. On a calculé que dans toute la zone des charbons à vapeur et des charbons bitumineux, c'ést-à-dire dans plus des deux tiers du bas-

la couche la plus basse ne se trouve pas à plus de mètres.

s puits sont muraillés. Dans le district occidental, leur on est circulaire et de 3 à 4 mètres de diamètre. A au contraire (à partir de la vallée de Neath), ils sont us souvent elliptiques. Le grand axe de l'ellipse est de 6 à 8 mètres; le petit axe en a 3 à 4.

enlève à la fois deux wagons, placés, soit au même de la cage, soit l'un au-dessus de l'autre. Les guidages en bois ou en fer; dans ce dernier cas, on se sert de s ronds, tendus fortement au fond du puits.

ici, pour deux exemples particuliers, les principaux ents de l'extraction :

	NEW TREDEGAR.	ABERAMAN.
ondeur.	380 mètres.	129 mètres.
re de la machine. . .	1 cylindre vertical.	2 cylindres horizontaux.
ètre des cylindres. .	1m,13	0m,65
se des pistons	1 ,90	1 ,50
bution.	Soupapes.	Soupapes.
ion (atmosphères mé-ques).	2,16	2,16
re du treuil.	Bobine.	Treuil cylindrique.
re du câble.	Plat, en chanvre, diminué.	Rond, en fer.
nsion du câble. . . .	0m,12 de largeur moyenne.	0m,15 de circonférence.
. . . .	2 étages en fer.	2 étages, en acier.
enlevé au fond. . .	7.300 kilog.	4.900 kilog.
e de la montée. . . .	45"	55" (montée et manœuvre à la surface).

distribution à soupapes est de beaucoup le plus em-e. Au puits Tunnel (compagnie de Dowlais), les sou-s sont commandées par une coulisse. Cette disposition nale est indiquée dans la *fig.* 11, Pl. X; *s* est la cou- agissant, par l'intermédiaire de la bielle *b*, sur un r oscillant *l*, qui soulève alternativement les soupapes *t* C est un contre-poids.

aucoup de machines sont munies d'un frein à vapeur matique, c'est-à-dire qui arrête de lui-même les bobines à de chaque course, à moins que le mécanicien ne sup-e son action au moment où sonne le signal d'arrivée.

La *fig.* 17, Pl. X, en fournit un exemple. Le frein se compose essentiellement de deux cames C, C', calées sur un arbre OO', qui engrène avec l'arbre moteur au moyen d'une roue dentée B. L'arbre O fait seulement une demi-révolution durant une ascension complète. Chaque came vient à tour de rôle agir sur un levier D, et le soulever vers la fin de sa course. Ce levier soulève un tiroir T et envoie ainsi la vapeur sous le piston P, qui met en marche le frein. Quand le mécanicien est attentif, il supprime l'action du levier, au moment où sonne le signal d'arrivée, en déplaçant ce levier avec la main vers la droite ou vers la gauche, de manière à le placer devant les espaces vides E, E'. En même temps, au moyen d'une pédale, il met directement le frein en œuvre. Lorsque le mouvement des cages est renversé, le levier D se trouve ainsi tout disposé pour agir à la fin de la nouvelle course.

Il peut arriver que le mécanicien se trompe de sens à l'instant de la mise en marche, et comme le levier est déjà déplacé, rien n'empêcherait l'envoi de la cage aux molettes. Pour empêcher cet accident, on place à une certaine hauteur au-dessus du puits un taquet qui, lorsqu'il est soulevé, envoie directement la vapeur au frein. Dans ce cas, la vapeur arrive soudainement, et l'effet est très-brusque. Au contraire, lorsque le frein agit par l'effet des cames, le mouvement est très-doux, parce qu'il y a dans le tiroir un petit canal qui donne lieu à une admission anticipée et progressive de la vapeur.

Le frein agit tantôt sur un tambour spécial, tantôt sur le volant, dont on garnit la périphérie avec des pièces de bois recouvertes par des bouts de câble en chanvre (*).

Les chevalements sont toujours d'une grande simplicité. Ils se composent de quatre poutres verticales entretoisées, dont deux, plus longues que les autres, sont arc-

(*) *Proceedings of the Southwales institute*, vol. I, n° 7.

ées et supportent les molettes. Ces chevalements sont llés en plein air. Lorsqu'un puits a besoin d'être fermé · la ventilation, toutes les faces du chevalement sont uvertes de planches jointives. Sur deux côtés, se vent des trappes, mobiles dans des glissières verticales, les cages soulèvent à leur arrivée pour permettre les œuvres.

leur arrivée à la surface, les wagons sont pesés et utés immédiatement sur des grilles, longues de 4 à ètres, larges de 2 mètres, inclinées à 20°, et présentant barreaux écartés de $0^{m},028$. Le menu de chaque wagon esé séparément, et s'il dépasse un certain poids, déducen est faite au piqueur. Le gros porte le nom de « gros riblage de la mine. » Dans beaucoup de cas, il est criblé ou deux fois au port d'embarquement, et fournit alors gros de criblage simple, ou criblage double, à l'emuement. » Le menu, dans le cas des charbons à va-, représente à peu près la proportion suivante, dans que opération :

Menu abandonné dans la mine.	15 p. 100
Menu de criblage à la mine.	14 p. 100
Menu de double criblage à l'embarquement.	7 à 10 p. 100

prenant 10 p. 100 dans le dernier cas, on trouve qu'il rme, sur un poids initial de 100, un poids total de u égal à $15 + 11,90 + 7,3 = 34,20$. Le gros ne cor-ond donc qu'à 66 p. 100 de l'abatage.

ans le cas des charbons bitumineux, une fabrication de est annexée à la mine. On sépare le tout-venant en classes :

Gros. . . .	vendu;
Moyen. . .	envoyé directement aux fours à coke;
Menu. . . .	lavé, puis envoyé aux fours.

Lwynpia, le lavage se fait dans un long labyrinthe où

les menus sont entraînés par un courant d'eau rapide; ils arrivent ensuite dans des trémies avec parois à claire-voie, où ils sont égouttés. Dans beaucoup de mines, on se dispense du lavage des menus.

On se contente encore, pour la calcination, de fours à boulanger presque rectangulaires, adossés deux à deux, avec cheminée dans l'intervalle, et pourvus parfois de carneaux latéraux qui les rapprochent alors des types plus perfectionnés.

Le chargement se fait tantôt par la porte, tantôt par le haut. La charge est ordinairement de 4.250 kilog. pour les 3 premiers jours de la semaine et 5.000 kilog. pour les 4 jours restants. On compte 72 heures pour la calcination de la plus petite charge et 96 heures pour celle de la grande. La charge se consolide sur deux barres de fer disposées en croix sur la sole. On la retire avec des crochets. On éteint par l'eau, tantôt avant, tantôt après le déchargement.

30 fours Coppée ont été élevés dans ces derniers temps à l'usine d'Ebbwale, et l'on en construit encore 30 autres.

Les charbons, préparés ou non, sont conduits au chemin de fer de la vallée la plus voisine et expédiés aux usines ou aux ports d'embarquement. Lorsque le puits est à une certaine altitude au-dessus du chemin de fer, on établit la communication par un plan incliné.

Épuisement. — Inondations.

Les couches inférieures, ou couches de charbons à vapeur, sont peu aquifères, et les mines y sont beaucoup plus poussiéreuses qu'humides. Souvent il suffit d'épuiser l'eau pendant la nuit avec des pompes de petite dimension. Dans les couches supérieures, la venue d'eau est plus considérable.

On rencontre beaucoup de systèmes de pompes plus ou

moins imparfaits. Mais dès que la question de l'épuisement prend une certaine importance, on adopte immédiatement la pompe du Cornwall. Parfois même, le type du Cornwall est construit sur de très-petites dimensions. Ainsi, à Cwmneol, le diamètre est seulement de $0^m,49$ pour une course de $1^m,80$. Le diamètre des tuyaux est de $0^m,20$. L'une des plus fortes machines se trouve à Vochriw. Le diamètre est de $2^m,12$; la course du piston de 3 mètres; celle des tiges de $2^m,70$. La machine fonctionne à une pression de $2^{atm.},16$, avec une détente de 3/4 et condensation.

Dans les exploitations en vallée, il faut élever l'eau au niveau du puisard. A cet effet, des tiges de pompe sont installées dans la galerie descendante et reliées aux tiges verticales par des V*bob* et des T*bob*, comme dans les puits coudés du Cornwall. La *fig.* 14, Pl. X représente un système de ce genre, appliqué dans la mine de Pencoed, près Llanelly.

Je n'entrerai dans aucun détail sur la marche des machines d'épuisement. Les pompes du Cornwall présentent seules un véritable intérêt. Or, établies par des ingénieurs du Cornwall, très-souvent conduites par des mécaniciens du même pays, elles se comportent exactement comme dans celui-ci. On peut admettre que les consommations et les rendements sont à peu près les mêmes aux deux endroits.

Les accidents par inondation sont fort rares. L'un des plus graves s'est produit le 14 février 1844, dans la mine de Landshipping, par suite d'une irruption de la mer au moment de la marée. Cette inondation coûta la vie à 40 hommes qui ne furent jamais retirés. Récemment, la mine de Tynewidd, près de Pontypridd, dans la vallée de la Rhondda, a été inondée par une infiltration de cette rivière (11 avril 1877). Les hommes ont vécu sans nourriture, pendant sept jours, dans une chambre où l'air s'était trouvé comprimé. Ils ont été retirés sains et saufs (*).

(*) Voir *suprà*, p. 63.

Pour se protéger contre les inondations, chaque mine s'isole généralement de ses voisines par des barrières de charbon. Mais c'est une faible garantie, car il a été constaté que les eaux passent facilement à travers les couches de grès poreux et les schistes houillers. Le plus sûr est d'établir un niveau d'épuisement chaque fois que, dans le percement d'un puits, on traverse une couche aquifère, et ensuite de faire descendre les tiges de pompe jusqu'à une couche inférieure à celle qu'on est en train d'exploiter.

Aérage.

La ventilation se fait soit par foyers, soit par ventilateurs à force centrifuge.

Les foyers, d'un usage très-répandu, sont constitués par des grilles horizontales, établies dans des cavités cylindriques en maçonnerie qui communiquent avec les puits de retour d'air par des carneaux montants. On choisit, autant que possible, un emplacement dans le roc, et l'on isole chaque cavité du massif environnant par une gaîne d'air protectrice.

Généralement, le foyer se trouve placé entre le puits d'extraction et le puits de retour d'air. Ainsi l'on voit dans la *fig.* 12, Pl. X, la disposition de Tunnel south Pit (compagnie de Dowlais). En A est le puits d'extraction et d'épuisement dont le fond est au niveau 350. En B est le puits de retour d'air, descendant au niveau 300. En F est la grille, large de 2 mètres et longue de 3. Suivant *ff'*, une faille rejette la couche de charbon au-dessous du foyer.

Dans quelques mines, par exemple à Dinas, les deux puits sont utilisés pour l'extraction et aussi pour la circulation des hommes. Rien de plus désagréable que la descente dans le puits de retour d'air, rempli de fumée et de gaz chauds; heureusement, le trajet se fait en peu de temps.

Les dimensions de la grille sont, à Dinas, de $0^m,90$ sur 3 mètres. On y brûle 6 tonnes de charbon par 24 heures, ou $92^k,50$ par mètre carré de grille et par heure. Cela correspond à un tirage extrêmement actif, car les limites indiquées par M. Gruner (d'après les expériences de MM. Scheurer-Kestner et Meunier) sont $16^k,6$ et $92^k,6$; en sorte qu'à Dinas on réalise le nombre maximum. Il faut cependant noter qu'un volume d'air considérable arrive directement au-dessus de la grille.

Les ventilateurs mécaniques sont préférés aux foyers jusqu'à une profondeur de 150 mètres. Plus loin, on emploie plutôt les foyers, sans se préoccuper beaucoup des dangers auxquels ils exposent. Cette manière de voir n'est pas spéciale au Pays de Galles, car, au mois d'avril 1871, un certain nombre d'ingénieurs réunis à la mine d'Usworth, près Newcastle, pour faire des études sur le ventilateur Guibal, sont arrivés, paraît-il, à la même conclusion. Néanmoins, à la mine de Dinas, on remplace actuellement le foyer par un ventilateur Waddle.

Le système Waddle est très-répandu dans le Pays de Galles, et doit sans doute cet avantage à sa grande simplicité. Il consiste en une série d'aubes planes comprises entre deux disques assez rapprochés l'un de l'autre. L'air est aspiré au centre par une ouverture de 3 à 5 mètres de diamètre, et rejeté par toute la circonférence extérieure, dont le diamètre varie entre 6 et 12 mètres. Ces dimensions, jointes à une grande vitesse de rotation, permettent à l'appareil d'atteindre une puissance suffisante; il est essentiellement aspirant. C'est un appareil propre au Pays de Galles : l'inventeur et constructeur, M. Waddle, habite Llanelly.

A Aberaman, l'action du ventilateur Waddle est combinée avec celle d'un foyer d'aérage : à cet effet, le puits de retour d'air est surmonté d'une cheminée qui active le tirage, et un canal latéral, partant de la base de cette cheminée,

aboutit avec une faible pente au ventilateur installé une dizaine de mètres plus loin.

Comme exemple détaillé, le ventilateur Waddle, établi à la mine de Pentre (vallée de la Rhondda), a 12 mètres de diamètre extérieur, $4^m,50$ de diamètre intérieur. Son épaisseur, qui atteint $2^m,40$ sur le pourtour de l'ouverture centrale, se réduit à $0^m,75$ sur les bords extérieurs. Ce ventilateur consomme, par 24 heures, 5 tonnes de charbon de rebut et fournit, par minute, 2.836 mètres cubes d'air. L'extraction maximum étant de 650 tonnes par 24 heures, on obtient ainsi 70 litres par seconde et par tonne d'extraction.

Les ventilateurs Guibal ont une puissance fort variable. Leur diamètre varie de 6 à 12 mètres. Voici deux exemples qui représentent, l'un les conditions moyennes de ces appareils, l'autre le maximum de puissance réalisé.

		MINE DE LWYNPIA (Rhoudda Valley).	MINE D'EBBWALE.
Diamètre		$9^m,00$	$12^m,00$
Largeur		$3^m,00$	$3^m,60$
Nombre d'appareils		2	2
Diamètre du cylindre à vapeur		$0^m,50$	$0^m,90$
Course du piston		$0^m,50$	$0^m,92$
Fonctionnement théorique	Nombre de tours	60	72
	Dépression (en eau)	$0^m,07$	$0^m,16$
Fonctionnement actuel	Nombre de tours	46	68
	Dépression	$0^m,04$	$0^m,14$
	Nombres de mètres cubes aspirés par minute	2.296	3.042

On remarque que d'un exemple à l'autre, le nombre de mètres cubes aspiré est augmenté seulement d'un tiers (précisément comme le diamètre), tandis que la dépression est plus que triplée. Le rendement est loin d'être toujours aussi bon que dans ces deux exemples. Ainsi, dans la mine de Cwmavon, on n'aspire, avec une installation presque identique à celle de Lwynpia, que 77 mètres cubes; la dépression est de $0^m,042$.

Explosions.

Jusqu'à l'année 1845, on n'a eu à enregistrer aucun sérieux accident de cette espèce. Depuis lors, ils ont été constamment en se multipliant. Du 10 mai 1852 au 19 juin 1869, il y a eu 19 explosions, qui ont amené 815 pertes de vie. Sur ce nombre, 13 explosions se sont produites dans le district, moins ancien que les autres, des charbons à vapeur, et ont amené 623 pertes de vie. En 1873, on a compté 8 explosions. La zone reconnue comme la plus dangereuse se trouve dans les *coal measures* inférieures et comprend une puissance de 150 mètres environ, contenant de nombreuses couches de charbon à vapeur.

M. Thomas Joseph attribue la fréquence de ce genre d'accidents aux méthodes actuelles d'exploitation, qui ne permettent pas, comme les anciens travaux d'affleurements, le *drainage* continuel des gaz dangereux. Ayant continué à appliquer le vieux système dans les mines dépendant des usines à fer de Merthyr et des environs, on a reconnu que ces mines, souvent considérables, sont restées remarquablement exemptes de grandes explosions, bien qu'on y emploie, dans bien des cas, des lampes à feu nu. Il y a exception pour la mine de Gethin, dépendant de Cyfartha, et qui a eu deux accidents graves, en 1862 et 1865. Mais cette mine est séparée des affleurements par une barrière de charbon laissée intacte, qui empêche presque totalement le drainage, et la place ainsi dans les mêmes conditions que les mines isolées de la vallée d'Aberdare. M. Thomas Joseph compare avec quelque justesse les mines actuelles, séparées les unes des autres par des barrières de charbon d'au moins 18 mètres, qui empêchent les affaissements d'ensemble, les décollements par couches, à des sortes de gazomètres fermés, que la moindre irruption de grisou peut remplir d'un mélange explosif dans l'intervalle de quelques

minutes. Le danger est grand, surtout quand on travaille en tailles montantes, parce qu'alors on ne peut éviter la formation de culs-de-sac dans lesquels s'accumule le grisou; la circulation ascendante n'est établie que d'une façon imparfaite. Les exploitations en vallée présentent à cet égard une bien plus grande sécurité. Les tailles chassantes, poussées assez lentement, avec une bonne ventilation, offriraient aussi des garanties. Si l'on se préoccupait en même temps de la situation des affleurements, de la position et de la profondeur des vallées, de l'inclinaison des couches, des lignes de faille, etc., pour tirer parti de ces circonstances au profit du drainage naturel; si l'on enlevait toujours les couches dans l'ordre descendant, de manière que les couches supérieures fussent toujours en avance sur celles de dessous, et permissent aux gaz contenus dans ces dernières un écoulement facile; si l'on traçait dans les couches non exploitables quelques galeries de drainage, et si l'on supprimait la plupart des barrières de charbon; si enfin, non content de murer les vieux travaux, on les remblayait complétement, ou continuait à les ventiler, on parviendrait sans doute à réduire, dans une proportion notable, les terribles accidents dus au grisou. Nous verrons plus loin comment il conviendrait, dans le même but, d'organiser la surveillance.

EXEMPLES PARTICULIERS.

Je me propose ici, en décrivant rapidement un certain nombre de mines, de montrer comment les différents détails étudiés jusqu'ici s'enchaînent suivant les cas.

District occidental. — Mines de Llanelly.

La compagnie Nevil et Druce possède, aux environs de Llanelly, 6 puits dont les champs d'exploitation s'étendent jusque sous la mer. On exploite par tailles montantes,

poussées sans interruption jusqu'à un avancement de 60 mètres. Les plans inclinés sont espacés de $10^m,80$. Autrefois on appliquait la méthode des piliers abandonnés, en donnant à chaque pilier $1^m,80$ sur $1^m,20$ et aux galeries ',80 de largeur. L'épuisement se fait par 9 pompes du ornwall.

Ces mines occupent un millier d'hommes et produisent 200 tonnes par jour. Les ouvriers de la surface sont yés $5^f,20$ à $3^f,95$. Dans la mine, on paye :

ur l'abatage. . . . . $1^f,25$ à $2^f,85$ par tonne ;
ur le percement des galeries. $6^f,75$ à $10^f,80$ par mètre d'avancement ;
ur le boisage. . . . . $3^f,75$ par cadre.

La mine de Cae, que je prendrai pour type, est pourvue deux puits, dont l'un sert en ce moment pour l'épuisement, tandis qu'on est en train d'approfondir l'autre, de anière à porter sa profondeur de 126 à 360 mètres, pour er recouper une nouvelle couche. Ces deux puits sont culaires, de 4 mètres de diamètre, et maçonnés. Leur uation correspond à un fond de bassin. Au nord, les uches ont moyennement une inclinaison de 1/6. Au sud, nclinaison dépasse 1/3. La direction est nord-sud. Il y plusieurs failles, dont la plus importante produit un rejet 162 mètres ; elle est dirigée N. 36° O., et plonge à l'est 2/3.

La machine d'extraction possède deux cylindres horintaux de $0^m,35$ de diamètre. La course est de $1^m,20$. La ession de $2^{atm},88$. La pompe a un seul cylindre vertical, $1^m,55$ de diamètre. La course est de $3^m,60$. Les tuyaux refoulement ont $0^m,37$ de diamètre. Les pistons plonurs ont $0^m,52$ de diamètre.

La machine d'extraction et la pompe sont mises en marche moyen de 4 bouilleurs, dont 2 seulement servent à la s. Ce sont des bouilleurs du Cornwall, longs de 9 mètres

et de 2m,10 de diamètre extérieur. Le tube intérieur est large de 1m,50. La consommation de charbon est de 15 tonnes par semaine.

L'extraction se fait avec des câbles en acier. Les cages sont guidées par des câbles en fer.

District septentrional. — Compagnie de Dowlais.

Cette compagnie, propriétaire de la plus grande forge du Pays de Galles et peut-être de l'Angleterre, exploite en outre un grand nombre de mines situées autour de l'usine, c'est-à-dire au voisinage des affleurements du nord, entre les vallées de Merthyr et de Rhymney. L'extraction totale est de 3.000 tonnes par jour, et emploie plus de 2.000 ouvriers. A mesure que les champs d'exploitation s'épuisent on en crée de nouveau, en s'éloignant de plus en plus dans la direction du nord-est. Les communications avec l'usine sont établies par des voies ferrées et par de longs plans inclinés automoteurs. Les menus de charbons à vapeur et les charbons de mauvaise qualité sont seuls employés dans l'usine à l'état cru. Les menus bitumineux sont lavés pour coke. Les gros de choix bitumineux et à vapeur, sont vendus pour l'exportation. J'ai visité les mines du Tunnel et de Vochriw.

Mine du Tunnel. — Il y a 2 puits à 60 mètres l'un de l'autre. Le puits du sud qui a été longtemps seul, extrait 300 à 400 tonnes par jour. Le puits du nord a été creusé pour exploiter une couche supérieure à celle du puits sud, et qu'une faille empêche d'arriver à ce dernier. L'exploitation de cette nouvelle couche n'est pas encore en pleine activité. Elle doit aller à 300 tonnes par jour. Les deux puits sont elliptiques et muraillés (6m,30 sur 3m,30). L'épuisement se fait par le puits du sud, au moyen d'une pompe du Cornwall dont le cylindre à 3 mètres de haut et 2 mètres de diamètre. L'aérage se fait par un foyer placé au bas du nouveau

puits. Je décrirai seulement l'exploitation de l'ancienne couche (puits du sud). La machine d'extraction est horizontale avec piston de $0^m,80$ de diamètre et 2 mètres de course. La distribution en a déjà été indiquée. Le câble est en fer, et s'enroule sur un tambour sem-iconique (Pl. X, *fig.* 13).

Les cages sont rectangulaires, hautes de 2 mètres et suspendues au câble par 4 chaînes. Elles sont guidées par des câbles en fil de fer. On n'extrait qu'un wagon à la fois.

La recette intérieure se trouve à 316 mètres de profondeur. A partir de là, on suit de belles galeries de roulage, à deux voies, larges de 6 à 7 mètres, muraillées sur les côtés et plafonnées en bois. Les galeries secondaires qui vont de là aux fronts de taille ont $2^m,50$ de largeur et $1^m,65$ de hauteur (juste la hauteur nécessaire pour le passage des chevaux).

La couche presque horizontale présente une épaisseur entièrement bonne de $1^m,05$. On l'exploite par grandes tailles montantes, avec galeries inclinées tous les 10 à 11 mètres. Le toit est soutenu par des boisages. On remblaye à $1^m,50$ en arrière, et l'on maintient les angles intérieurs du remblai par des piles de bois. Au début le toit descend énormément et fournit une quantité surabondante de remblai : mais il prend bientôt une solidité suffisante pour tenir sans aucun boisage. Les ouvriers travaillent de 7 heures du matin à 6 heures du soir. Ils sont payés $2^f,50$ par tonne (y compris la pose du remblai), et produisent chacun de 3 à 4 tonnes. Un poste spécial de nuit exhausse les galeries de roulage. Le service du roulage est fait par 15 chevaux. Chacun d'eux tire à la fois 4 wagons qui, chargés comble, contiennent chacun 1.500 kilos.

Le grisou est abondant dans les fissures du toit qui communiquent avec des failles. Cependant on travaille presque partout à feu nu. La ventilation est active. On la dirige au moyen de portes en toile goudronnée.

Mine de Vochriw. — Il y a deux puits, tous les deux elliptiques.

Le puits n° 1 a 396 mètres de profondeur. C'est le plus profond de la contrée. Il est muni de la pompe du Cornwall : l'extraction se fait par des cages à deux wagons superposés.

Le puits n° 2 n'a que 361 mètres. Il contient le retour d'air (aérage par foyer). Les cages enlèvent à la fois deux wagons juxtaposés.

La machine d'extraction est identique dans les deux puits. Elle est verticale, à deux pistons de $0^m,80$ de diamètre. Le tambour est formé par un cylindre de $6^m,60$ de diamètre avec extrémités coniques. Il est pourvu d'un frein à vapeur. Dans un coin du puits, on a installé un couloir spécial dans lequel circulent les ouvriers en dehors des changements de poste. Ils sont portés par une sorte de niche à deux étages, que manœuvre une petite machine. La recette supérieure est desservie par quatre hommes et deux femmes.

La disposition intérieure étant tout à fait analogue à celle de la mine du Tunnel, je ne m'y arrêterai pas davantage.

District central.

C'est de beaucoup le district le plus important comme production, comme qualité des produits et comme aménagement général. Aussi me suis-je principalement préoccupé de ce district dans la description d'ensemble ; je me bornerai à ajouter ici quelques observations. L'exploitation est surtout concentrée dans les vallées d'Aberdare et de la Rhondda.

La vallée d'Aberdare fournit les meilleurs charbons à vapeur du Pays de Galles. On y compte une vingtaine de mines différentes, dont les champs d'exploitation, en conséquence de la loi anglaise, s'enchevêtrent de la façon la plus bizarre. Les plus étendues sont celles de Navigation et

les deux mines Powell's Duffryn. Il faut citer aussi la nouvelle mine de la compagnie Cory's brother, à Penrhiwceiber, pour laquelle s'effectue le fonçage précédemment décrit.

Les deux mines Powell's Duffryn sont situées sur les deux versants de la vallée, en amont l'une de l'autre. On les distingue par les noms de *Upper Duffryn* et *Lower Duffryn*. La mine d'Upper Duffryn est divisée en plusieurs quartiers, exploités par les puits de Cwmneol, Aberaman, Forchaman. Elle est traversée par la petite vallée d'Aman, qui débouche dans celle d'Aberdare. Une forge d'une certaine importance lui est annexée. La *fig.* 8, Pl. X, montre en c, c', c'', c''', la position actuelle des champs d'exploitation; les traits ponctués indiquent les galeries de roulage et d'aérage aboutissant aux divers puits. Le quartier d'Aberaman nous a déjà fourni précédemment un exemple de grandes tailles. Les vieux travaux étaient exploités par piliers abandonnés.

Dans le quartier d'Aberaman, on exploite en outre les affleurements d'une couche d'argile réfractaire, et l'on fabrique des briques pour la métallurgie. La pulvérisation, le malaxage, le moulage s'effectuent mécaniquement. La cuisson s'opère dans des fours à six alandiers, analogues au four de Boleyne. On y charge 20.000 briques. La cuisson est complète en trois jours et trois nuits.

La mine de Lower Duffryn, à Mountain-Ash, dont l'intérêt principal réside dans sa traction mécanique à l'air comprimé, possède deux puits, servant tous les deux pour l'extraction. Le puits supérieur est fermé pour la ventilation. Celle-ci se fait au moyen de deux ventilateurs aspirants, système Guibal. — Les charbons sont descendus jusqu'au chemin de fer, qui passe dans le thalweg, par un long plan incliné. — On épuise l'eau, dans les deux mines Powell's Duffryn, au moyen de deux pompes du Cornwall qui marchent seulement la nuit.

La vallée de la Rhondda débouche dans la vallée de la

Taff, un peu en aval de celle d'Aberdare, à laquelle elle est parallèle. Les charbons sont les uns bitumineux, les autres à vapeur : aussi un grand nombre de mines sont-elles pourvues d'appareils à coke, ce qui n'a lieu nulle part dans la vallée d'Aberdare.

A Dinas, près du débouché de la vallée, MM. Coffin et Ce exploitent trois couches, dont deux à vapeur et une bitumineuse. Celle-ci est à 72 mètres au-dessous de l'ouverture des puits; on exploite surtout les parties situées dans la montagne, et on les atteint par une galerie à peu près horizontale. On obtient parties égales de gros et de menu. Ce dernier est transformé en coke, sans lavage.

Les deux couches à vapeur se trouvent à 342 mètres et 376 mètres de profondeur. Elles sont exploitées au moyen de deux puits, servant tous les deux à l'extraction et au parcours des ouvriers. Les grandes galeries de niveau sont distantes de 90 mètres, et les plans inclinés, de 12^{m},60. Les galeries de roulage ont 5 mètres de large sur 3 mètres de haut. Elles tiennent presque partout sans boisage au toit. En revanche, on remblaye avec une grande profusion de bois. — Les piqueurs de jour, au nombre de 250, sont payés 1^{f},65 par tonne et gagnent 3^{f},75 à 5 francs par jour. Il y a en outre un poste de nuit, pour l'exhaussement et l'entretien des galeries. Les hommes qui le composent sont payés 4^{f},35 pour 9 heures de travail. On emploie pour le roulage 24 hommes et autant de chevaux. Les rouleurs gagnent 4^{f},35 par jour.

Les autres mines importantes de cette vallées sont celles de Pentre, d'Océan, de Llwynpia, etc. Dans la mine de Pentre, il s'est produit à la rencontre d'une faille, d'après les explications qui m'ont été données, un effet assez curieux. L'une des moitiés de la couche est restée intacte, tandis que l'autre était recourbée vers le haut (*fig.* 16, Pl. X). On franchit très-aisément cet accident au moyen d'une galerie horizontale AB.

TROISIEME PARTIE.

ÉTUDE STATISTIQUE ET ÉCONOMIQUE.

Historique. — Statistique.

industrie du fer dans le Southwales remonte à peu au XVe siècle. A cette époque, la métallurgie se faisait isivement au bois, et le pays était couvert de forêts le déboisement ne devint sensible que vers le milieu VIIIe siècle. Les affleurements de la houille étaient déjà us à la fin du XVIe siècle : mais c'est seulement en 1735 n commença à substituer avec succès le charbon de terre iarbon de bois pour la fabrication de la fonte. Dès lors, oduction se développa rapidement. En 1788, le Gla-;anshire possédait déjà six hauts-fourneaux au coke, uisant 6,600 tonnes. C'est en 1836 que furent ouvertes remières mines de charbons à vapeur dans la vallée ardare.

. 1854, la production totale était de 8.500.000 tonnes.

. 1860, elle atteignait 10.250.563 tonnes.

statistique de la production, à partir de 1860, est née, d'après les chiffres de M. Hunt, par la *fig.* 9 X). Cette production augmente, mais avec de fortes ations. Si l'on joint par un trait, d'une part les points ma [1861 — 66 — 72], de l'autre les points minima — 64 — 68 — 73]. On obtient deux lignes d'allure lable, entre lesquelles oscille la courbe réelle. En , la production totale, d'après M. Hunt, se décompo-le la façon suivante :

		tonnes.
Glamorganshire.	Mines qui ont donné leur production.	3.574.635
	Mines dont la production est estimée.	3,748.000
Pembrokeshire.	(Production estimée).........	36.750
Caemarthenshire......	id.	825.500
Monmouthshire......	id.	4.225.695
	Total.............	12.410.580

Il faut y ajouter pour la production du Brecknockshire et d'une petite partie du Glamorganshire, qui rentrent dans un autre district d'inspection : 813.125 tonnes. On arrive ainsi à un total de 13.223.705 tonnes, fourni par 491 mines. En 1872, la production, de 15.047.250 tonnes, était fournie par 306 mines. On peut conclure de là que la moyenne de production annuelle pour une mine était :

	tonnes.
En 1872..................	37.500
En 1874..................	30.500

Cet abaissement considérable s'explique aisément par la dépréciation des charbons survenue en 1873, par les grèves qui en sont résultées, etc. Le charbon extrait en 1872 s'est réparti, pour la consommation, de la façon suivante :

Consommation intérieure (hauts-fourneaux exclus).	37,65	p. 100
Exportation à l'étranger...............	23,58	—
Envoi aux ports anglais................	16,89	—
Fabrication de la fonte................	16,34	—
Expéditions intérieures (par chemins de fer).....	4,05	—
Envois d'agglomérés à l'étranger............	1,36	—
.....id....... à des ports anglais.......	0,08	—
Exportation de coke..................	0,05	—

Parallèlement à la statistique de la production, il est bon de donner celle des accidents. En 1873, le nombre des ouvriers employés dans les mines de charbon était de 43.474. Il y a eu 109 accidents, qui ont causé 116 morts. Tenant compte, en outre, de la production, on peut dresser le tableau suivant, dans lequel les chiffres relatifs à l'en-

semble de la Grande-Bretagne sont placés en regard de ceux qui concernent le Pays de Galles (Southwales).

		PAYS-DE-GALLES.	GRANDE-BRETAGNE.
bre de personnes.	par accident. . . .	419	586
	par mort d'homme.	265	479
ıtités extraites. .	par accident. . . .	107.761 tonnes	146.267
	par mort d'homme.	101.268 —	132.677

parallèle n'est pas à l'avantage du Pays de Galles. locuments relatifs à 1860 montrent qu'à cette époque ıriorité était encore plus marquée, et se poursuivait à les points de vue.

	SOUTHWALES.	NORTHUMBERLAND Durham et Yorkshire.
ıbre de personnes. par mort d'homme.	277	451
ıbre de tonnes extraites. par mort d'homme.	56.171	157.245
ɹre de tonnes extraites par homme. . .	236,96	361,75
ɹre d'hommes par chantier.	87,54	123,70
ıction par piqueur et par jour de travail.	0to,91	1to,26

ıs *Annales des mines* ont publié à diverses reprises des ıaux méthodiques des accidents, qui me dispensent ister davantage.

uestion ouvrière. — Organisation de la main-d'œuvre.

, population du Pays de Galles a conservé, en Angle-, une originalité qu'il est bon de noter. M. Forster n dit à ce sujet :

Les Gallois sont un peuple brave, travailleur, bien titué, doué de bon cœur et de générosité, capable de ıments élevés.... Prenant peu d'intérêt à la politique, ıttachent, au contraire, une grande importance aux ; religieuses, et l'étranger est toujours frappé du nom- de leurs chapelles.... Les travailleurs ne sont pas

exempts des défauts attachés à leur classe; néanmoins ils peuvent entrer avantageusement en comparaison avec ceux des autres districts manufacturiers et miniers. Leurs conditions de logement, d'hygiène, d'éducation se sont améliorées. »

On a été obligé, depuis quelques années, d'augmenter presque partout la main-d'œuvre de roulage et d'entretien aux dépens de celle d'abatage. Si donc, comme on vient de le voir, les conditions de sécurité se sont améliorées, en revanche, la production individuelle, déjà inférieure à celle des autres districts, est encore allée en diminuant. Voici, pour deux mines de charbon à vapeur, produisant chacune 500 tonnes par jour, la composition actuelle du personnel ouvrier (d'après M. Forster Brown).

TRAVAIL DANS LA MINE.

	N° 1.		N° 2.	
Piqueurs	225	hommes	200	hommes
Rouleurs	58	—	37	—
Gamins (portes d'aérage)	26	—	21	—
Entretien des voies, graissage	17	—	22	—
Pose des remblais	64	—	46	—
Accrochage : valets d'écurie	10	—	9	—
Taille et pose des cadres	23	—	15	—
Exhaussement des galeries	0	—	3	—
Foyer, entretien des carneaux	5	—	3	—
Maçons	3	—	2	—
Traction mécanique	4	—	5	—
Galeries au rocher	8	—	0	—
Réception des bois aux puits	2	—	0	—
Surveillance, etc.	9	—	10	—
Total	454	—	374	—

TRAVAIL A LA SURFACE.

	N° 1.		N° 2.	
Recette, tamisage, roulage	17	hommes.	19	hommes.
Lampisterie	3	—	2	—
Pesage	3	—	3	—
Enlèvement du stérile	1	—	1	—
Mécanicien	3	—	3	—
Service de la pompe	3	—	0	—
Chauffeurs	6	—	4	—
Enlèvement des cendres	3	—	1	—
Service des locomotives	3	—	2	—
Total	43	—	36	—
Total général	497	—	410	—

A la tête de l'exploitation est placé le *manager*, qui répond personnellement, vis-à-vis des propriétaires, de la marche de tous les travaux. Il est souvent assisté par un undermanager.

Le surveillant, ou *overman*, constamment présent sur les travaux, exerce sur eux un contrôle général. Le garde-feu (*fireman*) est chargé de faire une inspection soignée des fronts de taille avant l'arrivée des piqueurs. Si tout est en bon état, il écrit la date sur le toit ou sur la face de travail; sinon il empêche l'accès au moyen de quelques pièces de bois. Il veille aussi à ce que chaque porte de ventilation soit dans la position voulue. Ces portes, dans le Pays de Galles, sont généralement constituées par des pièces de toile goudronnée que l'on suspend aux boisages. Le petit état-major de la mine est complété par un ingénieur-mécanicien et par un commis aux écritures.

L'organisation de la main-d'œuvre et de la surveillance influe pour une large part sur le nombre des accidents. Dans le Pays de Galles, un seul homme, le *fireman*, est chargé de l'inspection préliminaire de la mine, et il n'a pas le temps nécessaire pour reconnaître toutes les causes du danger; puis tous les hommes descendent en une seule fois, d'où résulte une grande confusion. Dans les districts du nord, au contraire, la surveillance est exercée par plusieurs personnes choisies parmi les piqueurs les plus intelligents et les plus laborieux, connaissant à fond les quartiers dont ils sont chargés et qui descendent dans la mine plusieurs heures avant les ouvriers; puis les piqueurs sont introduits deux heures avant les gamins chargés du roulage et de la ventilation; les garde-porte sont placés un à un par l'*overman*.

Notons maintenant que, dans le nord, la concentration des ouvriers au front de taille est plus grande que dans le Pays de Galles. Pour une longueur de 15 mètres, on place six hommes dans le premier cas, et seulement un homme

avec un gamin dans le second. Or la dissémination des ouvriers n'a pas seulement pour résultat de réduire la production individuelle pour diverses raisons faciles à apercevoir : elle rend le travail beaucoup plus dangereux. En augmentant la longueur des fronts de taille exploités, elle augmente les quantités de gaz produites. En diminuant la vitesse d'avancement, elle laisse au toit le temps de se détériorer davantage. Elle oblige à multiplier les voies d'aérage qui sont dès lors moins bien entretenues. Enfin, elle rend plus difficile une surveillance rigoureuse.

Si à côté de cet état de choses, uniquement dû aux habitudes locales, on place les conditions géologiques du bassin, qui ont créé des couches généralement plus puissantes que celles du nord, et pourvues de toits un peu moins solides, on arrive sans peine à comprendre l'infériorité des mines du Pays de Galles sous le rapport de la sécurité.

Les accidents de grisou sont nombreux, et nous avons vu précédemment l'influence exercée à cet égard par la méthode d'exploitation. Il convient ici d'ajouter que les lampes de sûreté (de Davy, Clanny, Stephenson, etc.) sont imposées aux ouvriers dans tous les quartiers grisouteux. Il leur est défendu d'avoir une clef. Lorsqu'un ouvrier reconnaît la présence du grisou, il lui est recommandé d'essayer d'éteindre sa lampe avec la mouchette, mais de n'employer aucun autre moyen. Il doit, s'il ne réussit pas, retourner à la station le plus lentement possible, en tenant sa lampe dans l'axe de la galerie et près du sol.

Dans une lecture faite, en 1872, à la société des ingénieurs du pays, et complétement approuvée par eux, M. Thomas Joseph proposait en outre quelques règles pratiques de surveillance dont voici les principales :

1° Tous les matins, avant neuf heures, s'assurer que dans la galerie de retour d'air, au voisinage du puits, il passe au moins 2.250 à 2.800 mètres cubes d'air par minute et par 500 tonnes d'extraction journalière [1/12° de mètre

cube par seconde et par tonne de production. On sait qu'en France une circulaire ministérielle demande 1/10° à 1/20°]. J'ai vu, dans la mine de Dinas, employer, pour une recherche analogue, un anémomètre à ailettes.

2° Faire en même temps une lecture manométrique près du puits de retour d'air (en supposant qu'on ventile par aspiration), et si, l'extrémité des travaux n'étant pas à plus de 1.600 mètres du puits, on trouve une dépression de plus de 0m,037 d'eau, conclure que les galeries d'air n'ont pas une section suffisante.

3° Chaque après-midi, vers trois heures, faire une lecture thermométrique en plusieurs points de la mine, et si, la profondeur ne dépassant pas 180 mètres, on trouve au front de taille plus de 18° centigrades, conclure que la ventilation est insuffisante. Au delà de 180 mètres, admettre un accroissement de température de 1° pour 32 mètres de hauteur verticale.

4° Faire deux fois par jour une lecture barométrique au fond du puits d'entrée d'air et, en cas de baisse, redoubler de précautions.

Les salaires des ouvriers, dans la vallée de la Rhondda, étaient en moyenne les suivants, durant l'année 1864,

Dans la mine :

	francs
Fireman	5.60
Personnel et entretien des galeries	5,00
Rouleurs	4,55
Piqueurs	4,35
Personnel de l'accrochage	5,20
Manœuvres	4,15

A la surface :

Gardiens de chevaux	3,75
Personnel de la recette	4,55
Mécaniciens	5,20
Graisseurs	2,60
Peseurs	3,75

En janvier 1870, le salaire moyen des piqueurs était de 4f,90; en août 1873, il s'élevait à 9f,05. Cet accroissement extraordinaire était motivé par celui de la consommation de houille. Il est à constater que la plus grande valeur des salaires a coïncidé avec un minimum de production individuelle. En 1870, d'après M. Vivian, la quantité de charbon abattue journellement par homme était de 4.000 kilog. pour les charbons faciles à couper. En août 1873, elle n'était plus que de 3.070. S'ils avaient travaillé comme en 1870, ils auraient pu gagner 11f,35 par jour. Voici quels étaient, à cette époque, les prix payés par tonne, pour l'abatage, dans la mine de Resolven, près Swansea :

		francs.
Septembre	1871	3,45
Janvier	1872	3,45
Mars	—	3,75
Juin	—	3,75
Septembre	—	4,15
Décembre	—	4,50

En novembre 1872, le reste de la main-d'œuvre coûtait, dans la même mine, 6f,75, ce qui donne un total de main-d'œuvre égal à 11f.25.

On remarquera avec M. Vivian que l'abatage est, au reste de la main-d'œuvre, dans le rapport de 2 à 3 : c'est une relation qui reste presque exacte au milieu de toutes les variations.

De pareils frais de main-d'œuvre ne seraient pas tolérables avec les conditions actuelles, les meilleurs charbons se vendant en ce moment (1876) 11 à 12 francs. Aussi y a-t-il eu deux réductions successives de 10 p. 100. En 1875, les patrons ont voulu en imposer une troisième, que les ouvriers ont d'abord refusée. M. Vivian, propriétaire d'une des grandes usines à cuivre de Swansea, a adressé à ces derniers, le 10 février 1875, une allocution devenue célèbre en Angleterre; le 29 mai 1875, les travaux ont été repris avec une réduction de 12,5 p. 100 sur les

salaires de 1874, mais en convenant que les salaires resteraient les mêmes pendant trois mois, et qu'à l'avenir un comité de conciliation, composé de six patrons et de six ouvriers, donnerait son avis sur les nouvelles réductions proposés. Le prix de l'abatage par tonne oscille aujourd'hui entre 2 et 2f,50.

Question commerciale.

Il est intéressant de comparer le prix de revient total avec le prix de vente. En 1860, MM. Gruner et Lan évaluaient de la manière suivante le prix de revient par tonne de 1.196 kilog. :

		sh.	d.	
Main-d'œuvre et chevaux.	Abatage.	1	4,6	
	Roulage.	0	5,5	
	Travaux stériles.	0	11,6	
	Aménagement. .	0	0,7	
	Chevaux.	0	4,0	
	Pesage.	0	1,0	
	Divers.	0	0,1	
Chemins de fer extérieurs.		0	0,1	
Total.		3	3,6	= 4f,11

		sh.	d.	
Redevances et matières premières.	Royalty.	0	9,0	
	Bois.	0	0,7	
Fer et fonte (vieux moulages détruits).		0	0,3	
Charbon pour machines.		0	0,8	
Matières diverses.		0	0,4	
Total.		0	11,2	= 1f,15

Le prix de revient total était, d'après cela, 5f,26.

En 1867, le prix de revient, d'après M. de Ruolz, était ainsi composé :

	francs.
Salaires	5,624
Matériel	1,458
Chevaux de fond	0,416
Royalty	0,832
Taxes	0,104
Administration	0,104
Total	8,538

Le prix n'était que de 7f,30 pour les houillères à charbon domestique, et descendait à 5 francs pour les mines exploitées par galeries horizontales débouchant au jour.

Si l'on prend pour prix actuel de l'abatage la moyenne de 2f,50, et si l'on admet, comme précédemment, que la main-d'œuvre totale est à celle de l'abatage dans le rapport 5/2 (relation facile à vérifier, entre autres, sur les chiffres de MM. Gruner et Lan), on voit que la main-d'œuvre revient aujourd'hui à 6f,25. En conservant les autres chiffres de M. Ruoltz, qui n'ont pu subir de grands changements, on trouve, pour prix de revient actuel de bonnes houilles à vapeur, 9f,164. Le transport jusqu'au marché de Cardiff (une trentaine de kilomètres) élève ce prix à 11 ou 11f,50.

Voici maintenant, d'après l'*Iron* du 2 septembre 1876, les prix atteints par les charbons sur le marché de Cardiff :

		francs.		francs.
Charbons à vapeur.	1re qualité	13,75	à	12,05
id.	2e —	12,25	à	11,25
Charbons bitumineux	1re —	13,10	à	11,85
id.	2e —	11,25	à	10,60

S'ils sont deux fois criblés, les charbons à vapeur se payent 0f,60 et les charbons de foyer 0f,90 d'extra :

		francs.
Charbons de forge.	1re qualité	9,35
id.	2e —	7,50
Charbons à vapeur.	Menus de choix	7,50
id.	Menus 2e qualité	6,25 à 5,60

Si l'on compare le prix de vente des charbons à vapeur

au prix de revient estimé, on voit que le bénéfice laissé à l'exploitant est minime, et l'on comprend que la crise ait forcé beaucoup de mines à suspendre leurs travaux.

L'embarquement des charbons dans les ports de Cardiff, Swansea, Newport, etc., mériterait une étude spéciale. Je dois me border à dire que les appareils mécaniques sont employés pour les manœuvres avec le plus grand avantage. M. de Ruoltz les range dans les quatre catégories suivantes :

1° *Tip à contre-poids.* Sorte de couloir mobile s'abaissant avec le wagon, suivant une inclinaison variable. Les rails arrivent à 7 ou 8 mètres au-dessus du quai.

2° *Tip hydraulique.* Diffère du précédent par l'addition d'une presse qui soulève le wagon au-dessus du quai jusqu'à une hauteur convenable pour le mouvement de bascule. Ce mouvement est produit par une seconde presse hydraulique.

La *fig.* 7, Pl. X, fait comprendre cette disposition. Q est la coupe du quai, P est la première presse à mouvement vertical, P′ est la seconde oscillant autour du tourillon T par lequel lui arrive l'eau. Pendant la manœuvre d'un wagon, le suivant est pesé et amené en Q pour attendre son tour.

3° *Drop hydraulique.* Le wagon est abaissé plein jusque sur l'écoutille.

4° *Grue hydraulique.* Appareil employé plutôt pour le délestage.

Avenir probable.

Une question s'impose, ici, comme pour beacoup d'autres bassins, combien de temps faudra-t-il pour épuiser les richesses si largement exploitées? Question impossible à résoudre avec exactitude, car on ne connaît ni les développements futurs de l'extraction, ni la valeur totale du dépôt. Il faudrait avoir une description de chacune des couches

exploitables, de ses variations de profondeur et de puissance : c'est ce qui est bien loin d'être fait. Aussi les appréciations sont elles fort divergentes, comme le montre le tableau suivant :

DATE de l'évaluation.	AUTEUR.	SURFACE du bassin en hectares.	PUISSANCE totale.	QUANTITÉ exploitable. (milliers de tonnes.)	DURÉE en années.
			mètres.		
1830	Francis Forster.	153.600	18	16 000.000	»
1854	F. Balcewell.	307.200	28	78.000 000	1.400
1865	E. Hull.	233.960	21 à 30	24.000.000	2.400
1866	R. Bedlington.	série supérieure 61.952	2,40	21.100.000	1.918
		série inférieure 160.000	12,3		
1868	Fairley.	166.400	9	11.216.000	800

Voici le raisonnement de M. Fairley :

Avec les procédés actuels, on ne pourrait pousser l'exploitation au delà de 400 fathoms (720 mètres : c'est une limite qui me semble bien étroite).

On peut estimer avec Francis Forster que, dans l'ensemble, les deux tiers du charbon se trouvent ainsi hors d'atteinte : c'est ce qui conduit à assigner 9 mètres pour la puissance moyenne utile, et l'on en déduit facilement que 166.400 hectares renferment. . 18.960.240.000 tonnes
Il faut ajouter, pour le Pembrokeshire, 1.024 hectares à puissance de 1^{m},80, soit. . . . 233.356.800 tonnes.
Déduisant du total 40 p. 100 pour le gaspillage, les failles, etc., ainsi que les 300.158.080 tonnes exploitées à la fin de 1867, on trouve en définitive 11.216 millions de tonnes, qui suffiraient pendant 800 ans avec le chiffre d'extraction de 1867.

Les membres de la *Royal coal commission* ont fait, dans ces dernières années, une étude approfondie de la question, et ils sont arrivés à des chiffres bien différents. La puissance totale qu'ils admettent dans la partie exploitable est de 18 mètres, chiffre déjà posé, en 1866, par M. Vivian;

léduisent 1/3 pour les pertes de toute sorte. Ils trouvent léfinitive :

	tonnes.
Charbon exploitable à moins de 300 mètres (d'après déduction d'un tiers).	32.285.541.245
Exploité.	828.575.598
Total.	32.457.165.647
Charbon à plus de 500 mètres.	4.108.996.750
Total.	36.566.162.397

ıvec l'extraction actuelle de 15 millions de tonnes, on ıt continuer 2437 ans. Cette évaluation est sans doute peu trop forte, tandis que celle de M. Fairley est éviıment trop faible.

.e grand développement de l'industrie minière s'est, ıu'ici, principalement concentré dans la partie est du morganshire et dans le Monmouthshire. On estime que 2/3 du charbon extrait viennent de la région située à t de Maesteg. Le charbon à vapeur est pris dans les lées de la Taff, d'Aberdare, de la Rhondda. Le charbon forges s'exploite vers l'affleurement du nord, entre Kirn et Blaenavon. Autour de Maesteg, les séries pennanınes fournissent des charbons domestiques et de manuıtures. A Maesteg se trouvent des usines à fer, placées sque sur l'anticlinale, de manière à atteindre la série *White ash* à une profondeur relativement faible. C'est ore la série de *White ash* qui est exploitée aux affleuıents de l'Ouest, tandis que, dans les vallées de Neath le Swansea, la profondeur des couches oblige à se conter des parties supérieures de la série pennantienne. ce côté, la consommation locale l'emporte de beaucoup l'exportation et les usines de toute sorte ont pris un 'eloppement considérable.

.es premières usines à fer se sont établies à l'origine des lées, au voisinage des affleurements de combustible et

de minerai de fer. Aujourd'hui, vu l'importance croissante des importations de minerais étrangers, les mines descendent peu à peu les vallées et tendent à se rapprocher de la mer. Les affleurements du Nord sont par-là même abandonnés, et l'exploitation se concentre davantage vers les affleurements du Sud, dans la région des charbons bitumineux qui fournissent un coke de bonne qualité. On peut donc prévoir que la région du Sud, celle-là même où les couches sont le plus fortement inclinées, est appelée à un grand développement métallurgique. D'un autre côté, la région de l'Ouest, celle des charbons anthraciteux, serait appelée à un brillant avenir si les qualités particulières de l'anthracite, que j'ai précédemment fait ressortir, étaient appréciées des consommateurs, et surtout si l'on construisait des appareils convenables pour son emploi. Enfin, le grand district des charbons à vapeur continuera longtemps encore son commerce d'exportation, en particulier vers les ports occidentaux de la France.

On peut donc penser que les ports de Swansea et de Cardiff augmenteront de plus en plus le chiffre de leurs affaires. Le second surtout, pourvu d'une installation magnifique, peut atteindre dans quelques années une importance commerciale de premier ordre, et gagner le terrain perdu dans ces derniers temps par Bristol.

APPENDICE.

te des principaux fossiles du terrain houiller appartenant au musée de la Société d'histoire naturelle à Cardiff.

1. — CALCAIRE CARBONIFÈRE.

POISSONS. . . . . Psammodus porosus.

MOLLUSQUES. . . . . Spirifera striata. Leptœna.—Rhynchonella. Evomphalus pentangulatus.

2. — MILLSTONE GRIT.

PLANTES. . . . . Sigillaria.

3. — COAL MEASURES.

POISSONS. . . . . Megalichtys Hibberti. Rhysodus granulatus. Pleuracanthus gibbosus. Palæoniscus. Poecilodus angustus. Schizodus sulcatus. Gyracanthus.

MOLLUSQUES. . . . . Spirifer glaber. Orthis resupinata. Chonetes Hardrensis. Productus scabriculus. Discina nitida. Lingula mytiloides. Aviculopecten gentilis. Myalina triangularis. Arca. Myacites. Bellerophon apertus.

ARTICULÉS. . . . . Anthracomya Adamsii. Estheria Adamsii. Carbonia Evelinae. Leaia Leidyi.

PLANTES. . . . . Alethopteris heterophylla. Stigmaria ficoides. Neuropteris gigantea. Trigonocarpum ovatum. Lepidodendron corrugatum. Knorria. Ulodendron minus et transversum. Lepidostrobus. Calamites. Pecopteris. Sphenopteris abbreviata.

(Proceedings of the Southwales Institute of Engineers. — 2 décembre 1874).

Analyses de charbons.

..TURE.	PROVENANCES.	CHARBON.	OXYGÈNE.	AZOTE.	HYDROGÈNE.	SOUFRE.	CENDRES.
..thra- cite.	Pontycats. (Vallée de Gwendraeth).	91,16	2,74	0,91	3,11	0,86	1,12
	Wainfynonna. (Gwendraeth.)	87,9		9,0		1,0	2,1
	Timber Vein. (Pembrokeshire.)	93,0	1,67	0,54	3,08	0,68	1,03
	Big Vein, Palley. (Vallée de Swansea.)	88,7		7.40		0,5	3 4
..arbons à ..apeur.	Veine d'Aberdare.	88,38	2,50	1,28	4,21	1,09	2,54
	Coalbrook Cower Vein. (Loughor.)	71,68		17,40		1,78	9,14
	Grande couche. (Merthyr.)	85,6		13,14			1,0
..arbons bitu- ..ineux.	Veine grisouteuse. (Loughor.)	79,94	»	18,40	»	0,90	0,76
	Rhondda, n° 3.	72,75	»	22,60	»	1,17	3,50
	Pool Coal. (Ouest de Llanelly.)	77,9		19,8			2,4

PROVENANCES.	NOMBRE DE MÈTRES CUBES D'EAU évaporée par mètre cube de combustible (anthracite, charbons à vapeur ou agglomérés).
Watney's anthracite.	11,878
Warlich's patent fuel (aggloméré).	11,446
Lyon's —	9,466
Graigola.	9,256
Anthracite (James et Aubry).	9,040
Duffryn.	8,642
Thoma's Merthyr.	8,616
Nixon's Merthyr.	8,240
Aberdare Co's Merthyr.	7,676
Wallsend Elgin.	7,374

(FAIRLEY : *Practical observations on the Southwales Coal Field*).

EXPLICATION DE LA PL. X.

Fig. 1. Dépilage par chambres.
— 2. Méthode des grandes tailles avec remblai (Aberaman).
— 3. Méthode des grandes tailles sans remblai.
— 4. Traction mécanique à Mountain Ash.
— 5. Remblayage par piles de bois.
— 6. Abatage suivant les plans de clivage.
— 7. Tip hydraulique.
— 8. Mines d'Upper Duffryn.
— 9. Courbe de la production.
— 10. Emplacement des puits.
— 11. Machine d'extraction du puits Tunnel.
— 12. Foyer d'aérage au puits Tunnel.
— 13. Treuil du puits Tunnel.
— 14. Épuisement dans la mine de Pencoed.
— 15. Manœuvre des câbles de traction à Mountain Ash.
— 16. Disposition d'un rejet dans la mine de Pentre.
— 17. Frein à vapeur.
— 18. Variations de qualité de la houille.
— 19. Carte du Southwales (échelle 1/120.000^e).

TABLE DES MATIÈRES.

LES GISEMENTS DE MERCURE
DE CALIFORNIE

Par M. G. ROLLAND, ingénieur des mines.

Le mercure a été découvert en Californie bien avant l'or. Le cinabre était connu des indigènes longtemps avant l'arrivée des blancs sur ces rivages, mais il n'est exploité que depuis l'année 1845. On sait quelle perturbation profonde les nouvelles mines d'Amérique ont apporté sur le marché du mercure, surtout dans ces dernières années. La Californie est arrivée à produire près de 2.800 tonnes de mercure en un an, soit, à elle seule, non loin des deux tiers de la production totale du monde entier : ce métal devenu presque commun, est tombé jusqu'à valoir moins de 5 francs le kilogramme.

En 1876, au cours d'un voyage de mission aux États-Unis et d'une visite à l'Ouest américain, mon attention a été attirée par l'importance et l'intérêt des gisements de mercure de Californie. Je me suis proposé de les étudier et viens les décrire ici. Le présent travail, qui se ressent peut-être de la nouveauté du sujet et du peu de temps dont je disposais, comprend quatre parties : dans la première, je donne un aperçu topographique et géologique des Coast Ranges, groupe de chaînes montagneuses qui longent la côte de l'Océan Pacifique et dans lesquelles se trouvent les gisements de mercure ; dans la seconde, je traite des gisements eux-mêmes, j'expose leurs caractères généraux et j'examine plus spécialement les principales mines, New Almaden, Redington et Sulphur Bank ; dans la troisième, m'arrêtant aux mines et usines de New Almaden, j'y prends des exemples d'exploitation, de traitement et de prix de

revient ; dans la dernière, consacrée à la statistique, je retrace les phases principales de la production californienne, de la consommation des États et Territoires de l'Ouest et de l'exportation en Chine, au Mexique, et ailleurs, enfin des fluctuations des cours du mercure à San Francisco.

Avant d'entrer en matière, je tiens à remercier MM. C. E. Livermore, de la compagnie de Redington, F. Parrott, de la compagnie de Sulphur Bank, J. B. Randol, de la compagnie de New Almaden, et les autres directeurs, ingénieurs ou propriétaires de mines, auprès desquels j'ai trouvé l'accueil le plus hospitalier dans mes visites et le concours le plus empressé dans mes recherches. Je dois également témoigner ma reconnnaissance au professeur T. Egleston, de New-York, et à M. E. de Crano, de San Francisco.

I. — LES COAST RANGES (*).

APERÇU TOPOGRAPHIQUE (**).

Entre les latitudes de 35° et 40° nord, les *Coast Ranges* et la *Sierra Nevada* se distinguent facilement, les larges vallées du Sacramento, au nord, et du San Joaquin, au sud, formant une séparation complète des deux systèmes de montagnes, lesquels s'élèvent, de part et d'autre, comme

(*) Une partie des renseignements contenus dans ce chapitre, est tirée du *Geological Survey* de Californie, qui, institué en 1860, par la législature de l'État, sous la direction de M. J. D. Whitney, a publié en 1865 un premier et unique rapport, assez sommaire d'ailleurs, et a cessé d'exister avant d'avoir achevé son œuvre.

(**) La situation géographique, le sol et le climat de la Californie ont été décrits avec détails par M. Laur, dans son beau mémoire sur le *Gisement et l'exploitation de l'or en Californie* (*Annales des mines*, 6e série, tome III); il y est plusieurs fois question des *Montagnes de la Côte*.

deux murs continus et distants de 60 à 100 kilomètres, le premier, les Coast Ranges, large en moyenne de 60 kilomètres et relativement bas, le second, la Sierra Nevada, large en moyenne de 110 kilomètres et ne le cédant guère en élévation aux Alpes et aux Appalaches.

La topographie générale de la Californie est très-simple. Imaginons sur la carte de cet État cinq lignes équidistantes et parallèles, ayant une direction N. 31° O. et écartées l'une de l'autre de 88 kilomètres. Appliquons celle du milieu le long de la base occidentale de la Sierra Nevada, avec laquelle elle coïncide entre Visalia et Red Bluff. La ligne voisine vers l'est, passe approximativement par les pics les plus élevés de la Sierra, sur une longueur de 800 kilomètres environ : c'est le grand axe orographique de la Californie. La ligne suivante traverse une série de dépressions, la plupart occupées par des lacs, et peut représenter la base orientale de la Sierra. D'autre part, la première ligne, à l'ouest de la ligne centrale, suit la base orientale des Coast Ranges, depuis le lac Kern jusqu'au lac Clear, sur une longueur de plus de 500 kilomètres. Enfin la suivante n'est autre que la base occidentale des Coast Ranges ou la côte de l'Océan Pacifique. C'est ainsi que les phénomènes de soulèvement ont divisé la Californie centrale, qui comprend toutes les richesses agricoles et minières de l'État, en quatre bandes d'égale épaisseur et de direction N. 31° O., qui sont en allant de l'est à l'ouest : le versant oriental et le versant occidental de la Sierra Nevada, les grandes vallées du Sacramento et du San Joaquin, et les Coast Ranges.

Considérant spécialement les Coast Ranges, on trouve que les grandes lignes de leur topographie sont également orientées suivant le N. 31° O. Les plissements de l'écorce terrestre ont formé parallèlement la côte et les chaînes et vallées principales, avec des vallées secondaires perpendiculairement. L'ensemble est très-accidenté; pas de plaine étendue, sauf les baies de San Francisco, de San Pablo et

de Suinsun et les vallées adjacentes, qui ne font qu'un tout en partie seulement recouvert par les eaux. La plus large vallée est celle de Santa Clara ou de San José, dont la baie de San Francisco, grand bassin oblong et entouré de hauteurs, est le prolongement vers le nord. La vallée et la baie sont comprises entre deux divisions très-nettes des Coast Ranges.

A l'ouest, se trouve la chaîne qui borde immédiatement le rivage de l'Océan; elle reçoit parfois le nom de *Santa Cruz Range* à partir de la baie de Monterey, au sud. Elle longe la vallée de Santa Clara; puis, vers le nord, diminuant de hauteur et de largeur, forme l'arête de la péninsule effilée qui sépare la baie de San Francisco de la mer; enfin plonge sous les eaux, sauf quelques cîmes formant îlots; mais émerge aussitôt, s'élevant à 779 mètres au mont Tamalpais, et se poursuit vers le nord. Cette interruption apparente de la chaîne est la seule ouverture ménagée le long de la digue naturelle; c'est la Porte-d'Or (*Golden Gate*), large seulement de 1k.5 et longue de 8 kilom., entrée de la baie de San Francisco, au sud, et des baies de San Pablo (*) et de Suinsun, au nord.

D'autre part, à l'est de la baie de San Francisco et de la vallée de Santa Clara, et à l'ouest de la vallée du San Joaquin, se trouve la seconde chaîne des Coast Ranges, partant de la baie de San Pablo, au nord, et se dirigeant vers le sud-ouest jusqu'à 36°30′ de latitude environ; elle est appelée *Monte Diablo Range* (chaîne du mont du Diable), du nom de la montagne et du pic qui la terminent au nord. Le pic du Monte Diablo est remarquable plutôt par sa position isolée et pittoresque que par sa hauteur, qui est de 1.157 mètres (**). De son sommet, on jouit

(*) C'est dans la baie de San Pablo que se jette le Sacramento, ayant déjà reçu les eaux du San Joaquin.

(**) Dans la même chaîne, le mont Hamilton a 1.332 mètres, et le San Carlos 1.493 mètres.

d'une vue fort étendue; l'œil va du mont Hamilton, au sud, jusqu'aux pics des bords du lac Clear, au Nord; de l'océan Pacifique, à l'ouest, jusqu'à la Sierra Nevada, à l'est: il embrasse ainsi plus de 10 millions d'hectares.

San Francisco, la jeune métropole de la côte Pacifique (*), est située à 37°48′ de latitude nord, à quelques kilomètres au sud de la Porte-d'Or, sur le versant oriental de la péninsule, au bord de cette baie magnifique, port naturel, vaste et profond, facile d'accès et abrité par les hauteurs environnantes. Le climat si remarquable et si vanté de la ville et de sa banlieue est dû à l'action des courants marins et des vents de l'Océan, dont l'influence se fait sentir sur toute la côte californienne. Ces vents sont arrêtés par le rempart des Coast Ranges, et l'intérieur du pays perd en eux un régulateur de température. Passant par la Porte-d'Or, ils se répandent en brises humides dans la région adjacente à la baie de San Francisco, où le climat est des plus tempérés, le sol riche, les eaux abondantes, tout favorable à la végétation, où l'on trouve les vallées les mieux cultivées et les plus fertiles : c'est le jardin de la Californie. A San Francisco même, la température varie peu de l'hiver à l'été; l'hiver, sans neige et sans gelée, est la saison des pluies; en été, pas de pluie, mais des brouillards et rarement le soleil. Certains jours de juillet, le voyageur, qui arrive de l'Est par le train transcontinental, est saisi d'étonnement, quand, après avoir descendu rapidement le versant oriental de la Sierra, aux sites pittoresques et boisés, et passé au milieu des grandes exploitations hydrauliques des graviers aurifères, il trouve, au travers de la grande plaine de Californie, jaunie par les moissons qui s'étendent à perte de vue, des chaleurs lourdes d'été; puis, auprès de la baie de San Francisco et à Oakland (**), parmi

(*) En 1876, San Francisco comptait plus de 275.000 habitants et couvrait près de 11.000 hectares.

(**) On sait qu'Oakland est située vis-à-vis de San Francisco, sur

les villas et les fleurs, une brise fraîche et un soleil gai de printemps; enfin, à San Francisco même, sinon le froid, du moins les brumes de l'hiver.

APERÇU GÉOLOGIQUE.

La géologie des Coast Ranges est encore bien imparfaitement connue. Les formations sédimentaires, qu'on y a déterminées jusqu'à ce jour, appartiennent aux terrains crétacé, tertiaire et postérieurs; les fossiles sont rares ou font défaut; les couches du crétacé sont souvent métamorphiques. Ces formations ont été plus ou moins relevées et plissées, le principal soulèvement du système semblant avoir eu lieu vers la fin de l'époque pliocène. Elles ont été recoupées par de nombreux dykes éruptifs et recouvertes en certaines régions par des coulées volcaniques. Nous signalerons les serpentines plus ou moins nettes, qui affleurent en abondance tout le long des Coast Ranges et au sujet desquelles règne une grande confusion : ce nom est appliqué tantôt à des roches éruptives, tantôt à des schistes métamorphiques.

Les Coast Ranges ayant été mieux étudiés au voisinage de la baie de San Francisco, nous décrirons brièvement la géologie du Monte Diablo et de ses environs.

La masse centrale de Monte Diablo est formée de roches métamorphiques et entourée de tous côtés de roches normales. Elle a environ $6^{km},5$ de long et $2^{km},5$ de large. Elle affecte la forme d'un croissant irrégulier dont la concavité est tournée vers le nord-nord-est. Le milieu du croissant est en grès métamorphique très-dur, avec beaucoup d'épi-

la rive opposée de la baie; c'est l'avant dernière station du *Central Pacific Railroad*, qui continue sur estacade jusque vers le milieu de la baie, large en ce point de moins de 10 kilomètres. Le débarcadère est relié à San Francisco par un service de *ferry-boats*.

ote; les deux pointes, qui constituent le pic nord et le pic rincipal du Monte Diablo proprement dit, sont en jaspes t schistes siliceux. Çà et là on rencontre, en sous-ordre, les schistes serpentineux et des micaschistes avec grenats t zircons. Le grès métamorphique du noyau central est oncé, cristallin, dépourvu de stratification. Les jaspes du ic nord s'observent clairement sur son versant nord; leur ouleur varie du rouge brique au rouge vermillon; les ouches, minces et contournées, plongent vers le nord et nt une direction est-ouest; en les suivant, on les voit asser à des schistes inaltérés du terrain crétacé, avec ammonites, inoceramus, etc., dont ils dérivent sans aucun oute. Le pic principal, au sud, est formé du même jaspe, illonné en tous sens par des veines de quartz et contenant arfois de l'épidote; le plongement a lieu vers le nord, et a direction est à peu près est-ouest; à 3 kilomètres vers ouest, on remarque, dans un ravin étroit, des couches ninces et régulièrement plissées de jaspes alternativement ouges et verts, et plus loin, dans la même direction, on rouve d'autres roches métamorphiques, puis les schistes naltérés. La serpentine est fréquente au nord ainsi qu'au ud de la montagne; ainsi, sur le versant nord du pic nord, lle forme, au contact des jaspes schisteux, une lentille de kilomètres de long sur 800 mètres d'épaisseur; l'intérieur du croissant, entre les deux pics, est creusé dans de serpentine tendre et peu caractéristique. — Notons, u nord-ouest de la montagne, un énorme amas de tuf alcaire, évidemment déposé par une ancienne source haude.

Le Monte Diablo est entouré de couches inaltérées, en énéral fortement relevées; ce sont d'abord des schistes, ù sont intercalés des lits minces et discontinus de marnes, et dans lesquels on trouve des fossiles caractéristiques du crétacé; sur ces schistes reposent des grès vec quelques rares fossiles du crétacé supérieur. Les

schistes tendres ont donné lieu à des vallées entre les murs de grès plus résistants; ainsi au nord du Monte Diablo, on rencontre une vallée occupée par les schistes, puis des collines formées par les grès en assises puissantes. Plus au nord, on a exploité des bancs de lignites (14 p. 100 d'eau, 1 à 6 p. 100 de cendres, très-peu de soufre) dans les grès du crétacé supérieur; ces couches portent la trace de dislocations postérieures à leur dépôt.

Continuant vers le nord, on traverse des formations plus récentes. Sur les strates carbonifères susmentionnées repose une grande masse de grès avec quelques schistes siliceux interstratifiés; ces couches, très-pauvres en fossiles et d'âge incertain, forment le passages du crétacé au tertiaire et occupent la place de l'éocène, qui fait défaut. Les formations miocène et pliocène sont développées dans cette région; le miocène est représenté surtout par des grès, qui forment des bancs très-puissants vers le bas de la série; au-dessus, les couches du pliocène, moins épaisses, mais plus fossilifères, renferment des fossiles marins, des empreintes de feuilles et du bois fossile silicifié. Ces strates sont recouvertes par des lits stratifiés de matières volcaniques, telles que cendres et ponces, évidemment remaniées par les eaux; ces dépôts forment une série de collines arrondies sur le bord oriental de la vallée du San Joaquin. Au-dessus se trouvent des lits de graviers, sans doute post-pliocènes, d'épaisseur variable et considérable, passant graduellement aux dépôts modernes de la vallée. Dans cette région, toutes les couches depuis le crétacé jusqu'au post-pliocène plongent vers le nord, mais de quantités variables.

Les roches éruptives sont surtout abondantes au nord de la baie de San Francisco (*); nous signalerons de grandes

(*) Il existe dans les Coast Ranges beaucoup de roches éruptives

ıasses de serpentines avec accompagnement éventuel de uartz résinites, et des coulées considérables de trachytes ; d'obsidiennes avec tufs et ponces, de laves basaltiques vec cendres et scories. Ces coulées, relativement récentes, ›rment une série presque continue de nappes depuis la aie de Suinsun vers le nord-ouest jusqu'au lac Clear, et au elà. Le point culminant de cette partie des Coast Ranges st le Mount Saint-Helena, haut de 1.303 mètres, cratère eint qui s'est épanché vers le sud et le sud-est. Toute ette région volcanique est encore en activité et possède innombrables sources thermales.

Nous ne ferons que citer les sources de la vallée de apa, à l'est et au pied du mont Saint-Helena. Mais nous .rons quelques mots des « geysers », qui se trouvent au ord-ouest, dans les gorges tributaires de la vallée Russe; s méritent à peine leur nom et ne sont pas comparables ıx geysers gigantesques du *Yellowstone National Park*)arc national jaune), dans le Wyoming, États-Unis, conée récemment explorée et décrite par le Dr F. V. Hayden. s offrent cependant un certain intérêt, et sont visités ıaque année par de nombreux touristes, qui traversent . baie en bateau à vapeur de San Francisco à Valejo ;o kilom.), remontent par le *Napa Valley Railroad* jusu'à Calistoga (70 kilom.) et achèvent le trajet en voiture ,5 kilom.). Les uns sont rangés au fond d'une gorge .roite (à 510 mètres au-dessus de la mer), les autres disəminés sur le versant d'une colline. Leur débit augmente vec les pluies, mais n'est jamais considérable. Ce sont ıntôt des sources ou jets d'eaux chaudes de quelques pieds e hauteur, tantôt de simples jets de vapeur. Ces eaux et apeurs ont une température variable et n'atteignant pas

---

ıi n'ont pas encore été signalées. Nous citerons une roche intéəssante, composée, d'après M. Michel Lévy, de glaucophane, de naragdite et de grenat, c'est l'analogue des roches à glaucophane ; l'île de Syra et de la Nouvelle-Calédonie.

100° ; elles sont chargées d'hydrogène sulfuré, d'acide sulfureux, etc., et tiennent en dissolution des sels de soude, d'ammoniaque, de fer, de chaux, de magnésie, etc. Tous ces sels se déposent, ainsi que le soufre natif, sur les flancs de la gorge : d'où des colorations vives et variées. Les roches avoisinantes, formées de grès métamorphiques et de schistes quartzeux (crétacé), s'altèrent rapidement ; il ne reste en certains points que des squelettes de quartz.

Les environs du lac Clear sont sillonnés de coulées volcaniques, qu'accompagnent des sources thermales. Ce lac est à une centaine de kilomètres au nord-ouest de la baie de Suinsun et à une soixantaine à l'est de l'Océan Pacifique. Il a 40 kilom. de long, son grand axe N. O.-S. E. est parallèle à la direction des couches (crétacé) de la contrée. La moitié septentrionale est circulaire et entourée de collines élevées ; la moitié méridionale forme un bras étroit, n'ayant à 13 kilom. de son extrémité que 3 kilom. de large ; la largeur changeant brusquement vers le milieu, le lac fait un angle rentrant, qui est occupé par l'*Uncle Sam*, montagne en grès métamorphique, haute de 750 mètres et plongeant à pic dans les eaux du lac. Au sud-ouest et au sud-est, les bords sont couverts de roches volcaniques.

Au sud-ouest, le lac Clear est séparé par des collines peu élevées en obsidiennes, ponces et scories, d'une dépression occupée par un petit lac où on a trouvé du borax. Les eaux contenaient $4^{g},8$ de borax par litre ; le fond du lac était recouvert d'une boue bleuâtre de $0^{m},50$ d'épaisseur avec critaux de borax irrégulièrement disséminés (*).

(*) Ce beau gisement de borax, découvert en 1856, fut exploité pendant une dizaine d'année ; en 1865, il produisit 260 tonnes ; en 1876, il fournissait journellement 2,5 tonnes ; mais un malencontreux trou de sonde, pratiqué au fond du lac dans l'espoir de rencontrer les sources de borax, recoupa une venue considérable d'eau ordinaire, qui envahit le lac et l'étendit tellement qu'il de-

II. — GISEMENTS.

GÉNÉRALITÉS.

ıercure se rencontre à l'intérieur et au voisinage *one schisteuse des Coast Ranges*, s'étendant sur plus kilomètres de longueur de part et d'autre de la baie Francisco, jusqu'aux comtés de San Luis Obispo et de Trinity au nord. Les *serpentines* apparaissent ı moins tout le long de cette zone, et près de tous ments cinabrifères (*). La composition et l'allure de elle-même ont été rendues fort complexes par les métamorphiques et mécaniques. On y trouve des ı talqueux, micacés, quartzeux, des roches serpen-

---

ıossible d'en retirer le borax économiquement, surtout ı découverte des grands gisements du Nevada et de la Ca- méridionale.

e borique, libre ou combiné, se rencontre communément ıte Pacifique.

trouve plus que des traces dans les eaux de l'Océan, le ı rivages de la Californie et de l'Oregon. On en trouve au dans les eaux alcalines des lacs Mono et Owen, au fond des- doit y avoir des cristaux de borax. Non loin de là, on con- ın exploite des dépôts salins, occupant de vastes étendues ːe d'anciens lacs aujourd'hui desséchés; nous signalerons s Columbres, situé à 38°5 de latitude nord et 108° de longi- est, ayant 16 kilom. de long sur 11 de large; ces dépôts ıent du sel ordinaire, du sulfate de soude, du borate de ılexite) et du borax; en les dissolvant à chaud et les fai- ıstalliser par refroidissement, on en retire tout l'acide à l'état de borax brut. On connaît enfin, au sud-est lifornie de vastes dépôts alcalins, renfermant du borax en ːs variables.

rancisco reçoit aujourd'hui plus de 2.000 tonnes de borax et les expédie en majeure partie dans les états de la côte ıue et en Angleterre.

ı roche à glaucophane, déjà citée, accompagnerait égale- s gisements de mercure.

tineuses, des argiles, des grès, des roches calcaires et dolomitiques, etc. Au centre, entre la baie de San Francisco et le lac Clear, dans la région déjà signalée autour du mont Saint Helena, les dykes éruptifs, les larges affleurements de serpentine, les grandes coulées trachytiques, basaltiques, et autres, semblent rompre la continuité de la zone schisteuse et donnent une grande irrégularité à l'apparence extérieure des collines. Les couches portent la trace d'un froissement longitudinal ; certains bancs ont été arrachés et sont enclavés dans d'autres ; l'allure devient parfois méconnaissable. On peut dire qu'au sud, les couches plongent de 60° à 80°, et au delà, vers le nord et le nord-ouest ; au centre, sont presque horizontales ; au nord, plongent de 40° environ vers le sud et le sud-est : elles forment ainsi un bassin irrégulier et oblong, au centre duquel se trouvent le mont Saint Helena et une portion du comté de Sonoma (au nord de la baie).

Toute la zone considérée est plus ou moins *imprégnée* de mercure, généralement à l'état de *cinabre*, parfois *natif* (*) aux affleurements. Le cinabre se rencontre rarement en beaux et gros cristaux (**) ; les cristaux sont, comme d'ordinaire, des rhomboèdres basés, sauf dans quelques échantillons, où se présente une forme nouvelle, découverte par M. E. Bertrand, savoir un prisme hexagonal allongé avec pointement rhomboédrique (***). Il existe

---

(*) Mines de Rattlesnake (comté de Sonoma), de Wall Street (comté de Lake), etc.

(**) Les plus beaux échantillons viennent des mines de Phœnix et de Redington (comté de Lake).

(***) Un échantillon, provenant de la mine de Redington, présentait du cinabre d'un rouge vif, en aiguilles fines et cristallines, sur du métacinabre noir. M. E. Bertrand a trouvé que ces aiguilles étaient formées par la combinaison du prisme hexagonal e^2, qui n'avait pas encore été signalé, avec le rhomboèdre a^{13} ($R \wedge R =$ 92° 36'). Angle de la face a^{13} et du clivage e^2 : mesuré, 136° 51' ; calculé, 136° 36' (*Zeitschrift für Krystallographie*, Groth, II, 2, 1878).

aussi, en Californie, une variété dimorphe du cinabre, appelée *métacinabre* par M. J. E. Moore (*). Enfin, on y a signalé des séléniures de mercure.

Le mercure et ses minéraux sont associés dans les Coast Ranges à des *quartz calcédoines* et *résinites* (sous diverses formes); — à des *pyrites* et *sulfures métalliques* (souvent décomposés) et à du *soufre;* — à des *bitumes*, *huiles minérales* et *substances bitumineuses* (abondantes et variées; nous mentionnerons l'*aragotite* (**) et la *posepnyt* (***), nouvelles espèces bitumineuses trouvées en Californie); — à des émanations actuelles d'*acide carbonique*, d'*hydrocarbures*, etc. (et parfois à des sources thermales minérales, à des suffionis d'acide borique, à des solfatares, etc.).

Les gisements de mercure de Californie offrent une grande complication résultant de l'irrégularité de leur allure et de la multiplicité des roches cinabrifères. Ce sont

---

Les mêmes aiguilles de cinabre se voient dans du quartz agathe de la mine de Phœnix.

(*) Le métacinabre se rencontre à Redington et dans quelques autres mines de Californie. Il a la même composition que le cinabre (HgS) et les mêmes caractères au chalumeau; il en diffère par son état généralement amorphe, sa couleur gris noire, sa rayure noire et son éclat métallique; il est opaque, même en plaques minces. Il se présente parfois en cristaux, mais très-petits ou fortement mâclés. Il appartient, sans doute, au prisme oblique ou doublement oblique.

(**) L'aragotite, nouvel hydrocarbure volatil, a été trouvé par M. Durand en écailles jaunes, dans une dolomie siliceuse de New Almaden et sur du cinabre de Redington. Il ne contient ni arsenic, ni soufre, ni aucun métal; il est insoluble dans l'essence ordinaire, l'alcool et l'éther.

(***) M. F. Posepny a observé sur les parois intérieures de la mine de Great Western (comté de Lake), une substance bitumineuse de couleur et consistance variables, verdâtre et assez dure, ou blanche, jaune, brune et gélatineuse. Il a montré que cette substance était un produit d'oxydation avancée, savoir un hydrocarbure analogue à la paraffine, fortement altéré; la partie oxydée, seule soluble dans l'éther, a la formule définie $C^{22}H^{36}O^{4}$: c'est à ce composé qu'a été donné le nom de *posepnyt*. (*Verhandlungen der K.K. Œster. geologischen Reichsanstalt*, 1877, n° 8).

habituellement des gîtes d'*imprégnation* dans les terrains crétacés, parfois dans les terrains tertiaires (*) ; ils semblent d'autant plus riches que les couches sont plus schisteuses et plus métamorphiques ; ils sont plus ou moins nettement en relation avec des *serpentines*, qui sont elles-mêmes imprégnées ou non. On trouve le cinabre le plus souvent dans des *schistes talqueux* et *argileux*, fréquemment *décomposés* et chargés d'*oxydes de fer ;* d'autres fois dans des *schistes quartzeux*, dans des *grès ;* plus rarement dans des *roches calcaires* et des *calcaires bréchiformes*, etc. On rencontre le mercure natif dans certaines roches magnésiennes près de la surface. Il n'y a pas fente nette, ni filon proprement dit. Le cinabre, avec quartz, pyrites, substances bitumineuses, tantôt est disséminé dans la roche en particules très-fines et en mouches ; tantôt la sillonne de veines et y occupe des nids. Les parties ainsi imprégnées se groupent et forment des zones riches, dont la puissance atteint parfois 150 mètres et la teneur en mercure 35 p. 100, ou planes comme des filons, ou lenticulaires comme des amas, se conformant, pour la direction et l'inclinaison, soit à l'allure des couches imprégnées elles-mêmes, soit plutôt à celle de l'ensemble de la zone schisteuse. Ces zones riches, sans limite bien nette, passent graduellement à des zones pauvres, contenant depuis 1/2 p. 100 jusqu'à des traces de mercure, parfois très-développées, mais sans valeur pratique. Tels sont la plupart des gîtes des Coast Ranges ; nous citerons, du sud au nord, Oceanic (comté de San Luis Obispo), New Idria (comté de Fresno), New Almaden et Guadalupe (comté de Santa Clara), Saint-John (comté de Solano), etc.

Les *quartz résinites* ou *opales résinoïdes*, qui sont toujours associés au cinabre, peuvent prendre un grand développement et se présenter en masses considérables, être

---

(*) D'après M. Withney, on trouve, dans le Sierra Nevada, le mercure dans les terrains triasiques.

égnés de cinabre, contemporain ou plus souvent posté-
, avec pyrites et substances bitumineuses, et former
une catégorie spéciale de gîtes ; comme à Redington
anhattan (comté de Napa), California et Great Western
té de Lake), etc. Ces quartz, généralement très-fen-
, renferment des veinules métallifères s'entre-croi-
en tous sens et des druses tapissées de cristaux de
re. Le minerai occupe des zones capricieuses, le plus
ent au contact des terrains encaissants ; il forme des
entrelacés, que nous comparerons aux *stockwerks* de
ins gisements d'étain d'Angleterre et d'Allemagne. Les
tz résinites cinabrifères accompagnent habituellement
erpentines : la relation apparaît clairement à Redington.
erpentines éruptives sont probablement oligocènes.

cinabre peut encore se rencontrer accidentellement
des *trachytes*, *obsidiennes*, *basaltes*, etc., plus ou
s décomposés, dans leurs *cendres* et leurs *scories*. Ainsi
phur Bank (comté de Lake), on exploite une coulée tra-
que, sans doute post-éocène, devenue cinabrifère.

rtaines *geysérites* et des dépôts modernes, calcaires ou
ux, concrétionnés et provenant d'anciennes sources
nales, sont colorés par du cinabre. Enfin, il existe
llement des *geysers* et *sources thermales en activité*,
mènent au jour du cinabre ; ainsi, près de la Californie,
evada, dans le comté de Washoe, les *Steamboat Springs*.
eysers émettent des vapeurs abondantes et déposent
surface une silice poreuse et en partie cristalline, avec
e et cinabre, dont la teneur n'est pas tellement basse
n'en tire parti depuis quelque temps : c'est un gise-
de mercure en formation et en exploitation (*).

En Islande, sur les bords de la cuvette du grand geyser,
s Cloizeaux a recueilli du mercure coulant et de la geysérite
géodes tapissées de cristaux de cinabre. — En Nouvelle-Zélande,
nvirons de Ohaiawai, il y a également, d'après M. Liversidge,
dney, des sources chaudes, qui sont mercurifères et cinabri-

On peut supposer que l'*ère des émanations mercurielles* le long des Coast Ranges a été ouverte par les éruptions de serpentines (entre l'éocène et le miocène?). On peut affirmer qu'elle *s'est poursuivie jusqu'à l'époque actuelle*, et que *ces émanations ont aujourd'hui même un dernier et faible écho.* Elles ont trouvé accès dans les roches les plus diverses, sédimentaires avant ou après métamorphisme, éruptives avant ou après décomposition, grâce aux fissures et crevasses des unes, grâce à la porosité des autres. Après un premier dépôt, les minéraux du mercure peuvent avoir été sublimés de tel point dans tel autre, et, vu leur volatilité, avoir imprégné après coup des régions fort étendues.

MINES DE NEW ALMADEN.

New Almaden, première en date comme en importance parmi les mines de mercure de Californie, est à une centaine de kilomètres au S.-E. de San Francisco (les trois quarts de la distance, de San Francisco à San Jose, sont parcourus en chemin de fer). Elle se trouve, ainsi que les mines voisines d'Enriquita et de Guadalupe, dans une petite ramification de la Santa Cruz Range, ayant pour point culminant le mont Chisnantuck (537 mètres). On rencontre dans ces montagnes des roches métamorphiques et sans fossile, qu'on suppose crétacées par comparaison lithologique avec d'autres roches des Coast Ranges : ainsi, les schistes siliceux et les jaspes, qui forment plusieurs sommets et, en particulier, la cime du mont Chisnantuck, sont identiques à ceux que nous avons décrits au Monte Diablo ; le calcaire métamorphique, qui occupe une zone puissante et discontinue, avec ou sans stratification, est la même que le calcaire, reconnu crétacé, du mont Black. On trouve quelques fossiles tertiaires, par exemple dans les grès inaltérés du

fères. — Près de Naples, à la solfatare de Pouzzoles, M. de Chancourtois a trouvé, à la bouche de la principale fumerolle, une incrustation de cinabre et de réalgar.

mont Umunhum. On voit de nombreux affleurements de serpentines.

La colline, qui renferme les gîtes de New Almaden, est composée de couches métamorphiques, sans doute crétacées, savoir : des schistes noirs et argileux, souvent altérés et très-ocreux, des schistes blancs avec chlorite terreuse, des schistes talqueux, des schistes quartzeux et jaspes, des quartz ferrugineux, des grès gris ou verdâtres, des calcaires blancs ou noirs, des brèches calcaires, etc. Ces couches ont perdu toute stratification ou à peu près ; elles sont traversées par des serpentines, parfois compactes et caractéristiques, au contact desquelles les roches sont devenues magnésiennes. Le cinabre, rarement cristallin, accompagné de pyrites et d'oxydes de fer, mais surtout de bitumes, solides ou liquides, imprègne sans loi apparente une grande diversité de roches. La gangue la plus fréquente, surtout près de la surface, est un schiste argileux, fortement décomposé et ferrugineux ; en profondeur, ce sont des schistes variés blancs ou verdâtres, des grès, des roches calcaires, etc. La roche est fréquemment sillonnée de petites veines de calcite, avec quartz, filets serpentineux, bitumes (dans les géodes cristallines), etc., lesquelles recoupent les veines de cinabre ou englobent ses débris. L'imprégnation forme des amas lenticulaires, et ceux-ci, dans leur ensemble, affectent généralement la forme d'un filon irrégulier. Il y a d'habitude un toit bien défini, mais pas de mur. Les plus riches concentrations de minerais se trouvaient au contact de toits réguliers et polis, formés de serpentines ou de schistes talqueux, non cinabrifères.

Les premiers travaux d'exploitation de New Almaden furent ouverts, en 1845, près du sommet de la colline, à 512 mètres au-dessus de la mer : c'est à partir de ce point que l'on continue à compter les niveaux des mines. L'ancienne mine, en grande partie inabordable aujourd'hui, a une étendue en plan de 630 mètres du nord au sud et de

360 mètres de l'est à l'ouest, et une profondeur de 240 mètres. Elle présente une irrégularité inextricable. Les amas de minerai, sans loi entre eux, variables en direction, inclinaison et puissance, ont été enlevés plus ou moins complétement, et à leur place se trouvent des chambres parfois très-grandes. On distingue trois groupes principaux d'anciens travaux : sud-ouest ou de San Francisco, central et nord. Le groupe nord comprend deux branches, l'une nord-ouest ou de Santa Rita West, l'autre nord-est ou de Velasco, lesquelles se réunissent vers le sud et sont reliées au groupe central par les travaux de Great Santa Rita. On peut dire qu'en plan les travaux du groupe nord et de Great Santa Rita ont la forme d'un Y, dont les deux branches supérieures seraient tournées vers le nord-ouest et le nord-est et le jambage inférieur vers le sud. L'amas cinabrifère de Great Santa Rita est le plus grand et le plus riche qui soit relaté dans les annales de New Almaden. Il était lenticulaire et presque horizontal; il avait environ 90 mètres de longueur suivant le N.-N. O., 24 mètres de largeur et 9 mètres de puissance. Exploité de 1865 à 1868, il fournit un minerai dont la teneur moyenne en mercure ne fut pas inférieure à 25 p. 100; la teneur de certaines parties atteignit 60 p. 100 et près de 70 p. 100. Le *Puits Principal* de l'ancienne mine traverse verticalement le groupe central du niveau de 90 mètres à celui de 240 mètres; il est relié au jour, au niveau de 90 mètres, par la *Galerie Principale*, vers le S.-E., et, au niveau de 260 mètres, par la *Galerie du Jour*, vers le N.-N. E.

La baisse progressive et rapide de la production de New Almaden, de 1870 à 1874, eut pour cause l'enlèvement successif de presque tous les minerais en vue et l'absence de travaux de recherches dans les années antérieures. Les explorations entreprises à cette époque furent d'abord infructueuses. On croyait déjà ce beau gisement épuisé sans retour, quand d'importantes découvertes prouvèrent qu'il

n'était pas confiné dans les limites, en somme restreintes, de l'ancienne mine. On trouva de nouvelles zones cinabrifères, moins riches peut-être, mais plus régulières, fort développées en direction et en profondeur, qui sont exploitées aujourd'hui avec succès et assurent encore de longs jours à New Almaden.

Au niveau de 193 mètres, une galerie, poussée à partir du puits Principal, suivit la zone cinabrifère exploitée autrefois à Santa Rita West, et constata qu'elle se prolongeait vers l'ouest, mais en changeant de direction. Cette zone, après avoir tourné de 90° en plan, devient relativement régulière et analogue à un filon, avec une direction N. E.-S. O. et un plongement moyen de 40°; mais l'imprégnation est, comme toujours, irrégulière, formant çà et là des amas. Plusieurs ont été rencontrés par la galerie d'allongement, à 193 mètres, et ont donné, de 1871 à 1874, les riches minerais de New Santa Rita West.

Un nouveau puits, le *Puits Randol* (*), a été foncé verticalement, à partir de la surface, à 540 mètres au nord et à 150 à l'ouest du puits Principal (son orifice est au niveau de 120 mètres environ); il a recoupé en profondeur la zone cinabrifère en question et sert à son exploitation. Une galerie en travers de 450 mètres le relie à la galerie du Jour, à 240 mètres. Les travaux inférieurs à ce niveau constituent une nouvelle mine, qui n'a pas reçu de nom spécial. On procède par étage de 30 mètres, au fur et à mesure de l'approfondissement du puits. A chaque nouvel étage, on perce une première galerie à travers bancs vers l'ouest, pour recouper la zone; arrivé au toit, on pousse de part et d'autre une galerie maîtresse d'allongement; puis revenant vers l'est par une série de galeries transversales de recherches, on explore, un peu au hasard, le gîte. Trouve-t-on une concentration suffisante de minerai? on ouvre un chantier qui

(*) Section libre, 2m,70 sur 1m,20; deux compartiments, un pour les cages, un pour les échelles.

se développe plus ou moins suivant les dimensions de l'amas; on extrait tout ce qu'on abat : d'où la formation de grandes chambres avec ou sans boisage, le terrain étant généralement très-consistant. On relie, d'ailleurs, les divers étages par des cheminées verticales pour la ventilation, l'écoulement des eaux, etc. — A 240 mètres, on a exploité, de 1872 à 1874, les minerai de Victoria. Le niveau de 270 mètres s'est montré pauvre; celui de 300 un peu meilleur. A 330, on a recoupé, en 1875, à 75 mètres du puits, un minerai de bonne apparence, dans lequel on a continué pendant 75 mètres; la chambre d'O'Brien exploite cet amas, le plus grand et le plus riche découvert depuis 1872 : c'était, en 1876, le point le plus productif des mines de New Almaden. A la fin de cette même année, les niveaux de 360, 390 et 420 mètres étaient déjà préparés et s'annonçaient bien. En 1877, le meilleur niveau a été celui de 420 et le puits Randol a dépassé 480 mètres. — Un autre puits vertical vient d'être ouvert à 330 mètres au nord-ouest du puits Randol (son orifice est au niveau de 240 mètres).

Au niveau de 168 mètres, une galerie, dirigée de l'ancien groupe de San Francisco vers le sud-ouest, a rencontré, en 1874, à 600 mètres du puits Principal, un amas de minerai de 30 mètres d'épaisseur et 60 de longueur. Cet amas appartient à une zône cinabrifère régulière, ayant une direction N.-S., un plongement de 45° vers l'ouest et une puissance moyenne de 23 mètres. Un puits incliné suivant l'inclinaison, a été foncé, en partie dans le minerai, de 168 à 240 mètres, auquel niveau il a été relié par une galerie en travers à la galerie du Jour. Cette nouvelle mine est quelquefois appelée le *Nouveau monde*.

Enfin, la *Galerie de la Gorge Profonde* ouverte sur le versant oriental de la colline, a découvert, en 1873, une zone cinabrifère de direction N.-S. avec plongement très-raide vers l'est, laquelle est exploitée dans la nouvelle mine de *Cora Blanca*. Deux puits verticaux ont été foncés à partir

le la surface à l'aplomb de la galerie de la Gorge Pro-
onde, le *Puits Cora Blanca* à 420 mètres à l'est et à 60 au
ud du puits Principal (son orifice est au niveau de 173 mè-
res), et le *Puits Gray* à 180 mètres plus à l'est et à 45
lus au sud. Le premier a trois étages en exploitation à 180,
10 et 240 mètres; en 1875, on était, à 180 mètres, dans
n amas riche de 130 mètres de long et 15 d'épaisseur.
epuis lors, la production a diminué, et la préparation du
uatrième étage, à 270 mètres, a été ralentie par la dureté
es roches; à la fin de 1876, il était question d'abandonner
e puits. Le second puits avait atteint, à la même époque,
 niveau de 300 mètres et devait recouper prochainement
 zone cinabrifère.

L'usine de New Almaden est bâtie dans la gorge d'Ala-
itos, au pied de la colline des mines, à moins de 2 kilom.
u sud-est du sommet et à 420 mètres en contre-bas.
n 1874 fut commencée une galerie fort importante pour
avenir de New Almaden, la *Galerie de l'Usine*, destinée
 mettre en communication directe l'usine et la mine de
ora Blanca; elle est ouverte au niveau de 360 mètres,
est-à-dire à 60 mètres en contre-bas de l'usine, et dirigée
u nord-ouest vers le puits Gray, qu'elle doit rencontrer
u bout de 960 mètres de longueur totale. En octobre 1876,
e tunnel avait atteint 640 mètres; il a été alors provisoi-
ement arrêté à cause de la baisse de la production au
uits Cora Blanca.

— A New Almaden, la richesse des minerais est aussi
ariable que la nature des gangues et l'allure des gisements.
a teneur moyenne des minerais extraits n'est pas exacte-
ent connue. Les minerais extraits actuellement des tra-
aux tant anciens que nouveaux, sont en grande partie
heidés et classés au jour (*). Les deux tiers environ sont
jetés, comme trop pauvres. Le tiers restant, qui est en-

(*) Pour plus amples renseignements, voir page 412.

voyé à l'usine, se divise en deux classes principales. Un tiers environ, comprenant les morceaux dont la grosseur varie de $0^m,02$ à $0^m,2$ et au delà, forme le minerai dit *riche*. Les deux autres tiers comprennent les *menus*, depuis $0^m,02$ jusqu'à des poussières. — D'autres minerais traités à l'usine proviennent d'anciennes haldes, reprises, scheidées et classées : en minerai dit *pauvre*, et en *menus*. — Voici maintenant quels sont les rendements en mercure donnés à l'usine par ces diverses classes de minerais. Le rendement des menus est évalué à 1 p. 100. Le rendement des pauvres a été estimé à 2 p. 100 en 1875 et 1,5 p. 100 en 1876. Les riches, seuls et avec les autres classes, ont rendu :

	1875	1876
Riches	9,68	14,31
Riches et pauvres	6,92	9,32
Riches, pauvres et menus	3,33	4,69

MINE DE REDINGTON.

Au sommet de la vallée de Napa, à une centaine de kilom. au nord de San Francisco, à une soixantaine au nord-ouest de Napa City (où passe le chemin de fer de Valejo à Calistoga), sont les mines déjà citées de Redington, Manhattan, California, etc., dans des quartz résinites, associés à des serpentines (sans doute oligocènes). Le quartz résinite de Redington est exclusivement composé d'opale (variétés hydrophane et hyalitique) ; dans un échantillon, M. Michel Lévy a trouvé une intéressante structure perlitique. Ce quartz s'y trouve en masse considérable ; il n'est cinabrifère et exploité qu'au contact du toit, un grès crétacé plus ou moins imprégné d'opale (des salbandes sont interposées entre le grès et le quartz). La surface de contact est plane, avec une direction N. S.-S. E. et un pendage de 45° vers le N.-E. : telle est, du moins, son allure dans toute l'étendue de la mine, sur 150 mètres en direction et 120 mètres

en profondeur. Le cinabre, accompagné d'une proportion inusitée de sulfures métalliques et de substances bitumineuses, a pénétré le quartz résinite au voisinage du toit, remplissant les fissures et crevasses sur une épaisseur variable et pouvant atteindre 60 mètres; la plus grande richesse est au toit, mais le toit lui-même n'est pas métallifère. La régularité des travaux résulte de celle de la zone cinabrifère. Le puits a été ouvert dans le quartz résinite; à 150 mètres de profondeur, il en est sorti pour entrer dans de la serpentine proprement dite. A chaque niveau, on perce une galerie en travers à partir du puits vers le N.-E., c'est-à-dire vers le toit, le long duquel on dirige ensuite une galerie maîtresse; puis on développe les travaux vers le S.-O. c'est-à-dire vers le centre de la masse quartzeuse, sans règle, enlevant tout dans les régions riches, ne faisant que traverser les plus pauvres, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la limite de la zone cinabrifère. — L'acide carbonique se dégage en abondance au sein des travaux.

A Redington, on fait simplement subir au minerai au sortir de la mine un classement sommaire; on obtient, avec une faible proportion de gros, deux classes principales, celle des morceaux de $0^m,06$ à $0^m,02$, et, en dessous, celle des menus. A l'usine, on retire en mercure 1 à 3 p. 100 des minerais (*).

MINE DE SULPHUR BANK.

On appelle *Sulphur Bank* le versant méridional d'une colline longue et surbaissée, située à l'est de l'extrémité sud-est du lac Clear; à une faible distance du rivage, le sol, d'abord plat, s'élève doucement vers le nord et l'est, sans trace de végétation, jusqu'au sommet de la colline, qui est à 30 mètres environ au-dessus du niveau du lac. Il y a quelques années encore, le Sulphur Bank était recouvert

(*) Ces renseignements remontent à l'année 1876.

d'une croûte épaisse de soufre natif, — d'où son nom, — dont on avait cherché un moment à tirer parti, mais sans succès. En 1874, du cinabre était découvert dans le soufre de la surface : le Sulphur Bank était aussitôt acheté et exploré par une nouvelle compagnie. Une série d'entailles à ciel ouvert furent pratiquées, du sud au nord, sur divers points du versant, les principales à partir du pied : elles révélèrent la présence de grandes quantités de cinabre dans les flancs de la colline. Le minerai était assez pauvre, mais abondant et d'exploitation très-facile. Les travaux se développèrent fort rapidement, et, en quelques mois, la nouvelle mine prit rang parmi les plus productives de Californie.

Le gisement de Sulphur Bank est aussi remarquable qu'important. La colline est formée par une coulée trachytique, en lits alternatifs de roche, de scories et de cendres, avec accompagnement éventuel de quartz opales. Le terrain sous-jacent et environnant appartient au crétacé; il est parsemé de sources chaudes. La coulée doit avoir recouvert des centres d'émanations, chargées principalement de soufre et de mercure; les vapeurs venant du fond se seront fait jour au travers des parties poreuses et fendillées, provoquant une active décomposition de la roche et se condensant au sein de la masse ou près de la surface (le soufre s'est déposé de préférence près de la surface). Ces émanations n'ont pas cessé aujourd'hui, d'après la chaleur qui règne dans les excavations (laquelle, il est vrai, provient en partie de décompositions à l'air).

La roche est dans un état d'altération variable, généralement avancé; elle renferme çà et là des parties encore dures et relativement intactes, en gros blocs arrondis, séparées par des parties tendres et terreuses. Ces blocs, sans valeur au point de vue pratique, permettent d'étudier la roche : c'est un trachyte, tantôt compact, tantôt cellulaire, presqu'entièrement transformé en opale, semblant tertiaire et au moins post-éocène. Tout autour, la roche désagrégée

est pénétrée de veines métallifères. Enfin la roche complé-
décomposée, les scories et les cendres contiennent
bre à l'état de nids, de veines, ou d'imprégnation
e (se révélant par le lavage au pan). — Çà et là se
t des quartz opales et résinites cinabrifères.
nabre est généralement amorphe ; sauf dans cer-
cories, où on le trouve en petits cristaux minuscules.
majeure partie des minerais, il est finement divisé
vement pur ; aux points les plus riches de la mine,
mpact et associé à des éléments variés, parmi les-
ominent des oxydes métalliques, des substances
ieuses, des composés de l'alumine et de la silice. *Il*
jours intimement mêlé à plus ou moins de soufre
qui, au delà d'une certaine proportion, devient
dans le traitement pour mercure. Le soufre prédo-
arfois ; il se trouve irrégulièrement distribué dans
ment : en quelques endroits, il forme de gros nids
et cristallins ou des masses noires et terreuses, qu'on
à part et qui vont au raffinage pour soufre. *Les*
sont rares. — Ainsi le cinabre de Sulphur Bank
venir fort complexe de composition et se charger de
up de soufre. M. M. C. Vincent a analysé un échan-
le minerai compact provenant d'une des entailles
s riches ; il a trouvé 10,27 p. 100 de mercure, 9,45
oxyde de fer, 10,19 de substances bitumineuses,
le soufre libre, 13,30 de soufre combiné, 14,06 de
3,72 d'alumine. D'autres échantillons de la même
tenaient davantage, tel jusqu'à 40 p. 100 de mer-
C'est la teneur la plus élevée que nous connaissions
hur Bank. Nous signalerons enfin la présence de l'acide
dans certains minerais de Sulphur Bank (nous avons
à proximité on trouvait du borax dans les eaux d'un
c) (*) : un échantillon en contenait 0,074 p. 100.

(*) ...ge 393.

Toutes les entailles de la mine, étagées sur le versant de la colline, ont constaté la présence du cinabre, depuis l'imprégnation la plus pauvre jusqu'à l'état massif. La richesse est beaucoup plus grande à l'est. De ce côté, la proportion de blocs durs et stériles est bien moindre ; les scories et cendres abondent : c'est l'extrémité de la coulée. On y trouve en grandes quantités des matières terreuses, humides et foncées, très-chargées en soufre et très-acides, riches et faciles à abattre au pic ou même à la pelle ; on rencontre parfois plusieurs mètres de ce minerai compact, par exemple, dans la grande excavation du sud-est.

Au fond de cette excavation, en contre-bas du niveau du lac, on a mis à découvert des sources jaillissantes d'eaux chaudes, avec dégagement abondant d'acides carbonique et sulfhydrique : le mineur semble interrompre la nature dans son œuvre de formation d'un gisement de soufre et de mercure. Près de ces sources, nous avons vu, dans les parties basses des travaux, des schistes argileux lustrés, ici horizontaux, là verticaux, bouleversés et disloqués : ce qui nous a porté à croire que la crevasse de la solfatare mercurielle passait près de ce point. Suivre cette crevasse en profondeur serait sans doute impossible, tant à cause des émanations malsaines et chaudes que de la proximité du lac. Mais il serait intéressant de savoir quelle est son allure, sa direction, si elle se poursuit sous la coulée ou en sort : de là doit dépendre l'étendue des parties imprégnées de la coulée, c'est-à-dire l'avenir de la mine. Il est certain que toute la coulée n'est pas imprégnée ; ainsi la région traversée par la galerie ouverte sur le versant occidental, à 75 mètres du rivage, et dirigée vers l'est, s'est montrée complétement dépourvue de cinabre sur les 45 premiers mètres.

Dans un rapport estimatif de la valeur du gisement, et datant de juillet 1875, MM. W. Ashburn, J. D. Hague et Th. Price considèrent une superficie de 56.400 mètres car-

:, à partir de la base méridionale de la colline; mul
ant cette surface par une hauteur moyenne de 10 mètres,
défalquant du volume ainsi obtenu un tiers pour les
ocs stériles, on arrive à 376.000 mètres cubes cinabrifères,
présentant environ 662.400 tonnes de minerai. Une cin-
antaine de prises d'essai (chacune portant sur plu-
urs centaines de kilog.), ont été faites en divers points,
it sur les parois des excavations ou à la surface, soit
ns les tas de minerais abattus : les teneurs en mercure
s minerais en place ont varié entre 6,12 et 0,25 p. 100;
lles des minerais en tas entre 11,26 et 0,55 p. 100. Les
nclusions du rapport sont que le minerai contient en
oyenne 1,75 p. 100 de mercure et le gisement entier,
ec les blocs stériles, 1,13 p. 100.

A la même époque, M. M. C. Vincent estimait à 1 p. 100
teneur moyenne en mercure du gisement entier, consi-
ré entre les mêmes limites.

Il faut remarquer que tout ce minerai est en vue, meuble
très-facile à abattre, menu et ne demandant qu'un cri-
age sommaire sur place. L'exploitation consiste en une
nple opération de tranchées à ciel ouvert; le développ-
ment des travaux n'est qu'une question d'hommes pour
attre et transporter, et de fours pour traiter; les deux
rs des quantités abattues sont utilisables (*). La colline

(*) L'exploitation à ciel ouvert du Sulphur Bank contraste par
simplicité avec les exploitations souterraines de New Almaden
autres mines de mercure de Californie. Le prix de revient du
nerai aux fours, y compris les frais de séchage et d'emmaga-
iement (on approvisionne l'usine en minerais pour la saison des
iles et des neiges, pendant laquelle le travail est presque inter-
mpu à la mine), varierait entre 3f,75 et 5 francs seulement.
1876, la mine occupait 125 chinois, à 6f,50 par jour et un chef
anc à 520 francs par mois.

Lors de notre visite à Sulphur Bank, une partie des minerais
ait concentrée avant traitement. L'atelier de préparation mé-
nique, bien conçu en lui-même et installé par MM. Adams et
rter, employait le *Frue Vanning Concentrator*, nouvel et inté-

cinabrifère de Sulphur Bank constitue une énorme réserve, dont l'étendue n'est pas exactement connue, où l'on peut puiser à volonté, pendant plusieurs années encore, et qui assure une exploitation fructueuse, quelques soient les cours; mais la réserve enlevée, il n'y aura sans doute plus de mine.

III. — NEW ALMADEN.

EXPLOITATION.

Les gîtes de New Almaden sont exploités d'après une méthode en travers assez grossière, que nous avons esquissée plus haut (*). Aucun triage n'a lieu au fond; tous les minerais abattus sont extraits tels quels à la surface; on ne remblaie nulle part; on boise les chambres à mi-

---

ressant appareil déjà décrit par nous, dans les *Annales des mines* (tome XIII, page 174; *Notice sur les Tellurures d'or et d'argent du comté de Boulder, Colorado*). Mais qu'on juge de l'opération au point de vue des intérêts de la compagnie minière. On envoyait à la concentration un minerai à gangue quartzeuse (opale), provenant d'une région spéciale de la mine, et tenant environ 1,5 p. 100 de mercure, c'est-à-dire autant, sinon plus, que la moyenne des minerais de Sulphur Bank. Les produits résultant de la concentration, étaient: les riches, tenant en moyenne 56 p. 100 de mercure, et les stériles, les slimes riches, tenant de 6 à 10 p. 100, et les slimes pauvres. Les riches, renfermant environ 64 p. 100 du mercure primitif, et les slimes riches 8 p. 100, étaient traités ensemble au mouffle. Les stériles, emportant environ 18 p. 100 du mercure primitif, et les slimes pauvres 10 p. 100, étaient rejetés : soit 28 p. 100 de perte totale. Le prix de la préparation mécanique était de 12 francs par tonne de minerai brut. A cette perte, comparable déjà à la perte au traitement métallurgique, et à ce prix, environ triple des frais de traitement d'un minerai semblable dans les fours modernes, s'ajoutent la perte et les frais du traitement ultérieur de la partie concentrée.

(*) Voir page 402.

et autres vides résultant de l'exploitation, quand le
in n'est pas assez consistant pour se passer de sou-
nent. Au jour, les minerais sont scheidés et classés :
ui est trop pauvre est rejeté, ce qui est envoyé à l'u-
comprend les deux classes déjà définies, le minerai
iche et les menus (*). Autrefois, de grandes quan-
de menus plus ou moins cinabrifères, avaient été
oyées au fond comme remblais ; on reprend aujour-
. ces anciens remblais, à la place desquels on boise,
. les ajoute aux menus provenant des minerais en
: ; la proportion des minerais ainsi retirés est faible,
.vement aux quantités abattues et variable avec les
ovisionnements de l'usine. Enfin on extrait à la surface
s les roches stériles abattues, soit dans le fonçage des
ou cheminées, soit dans le percement des diverses
ies. En somme, les quatre cinquièmes environ des
tités extraites, ayant supporté tous les frais d'exploi-
, sont rejetés, comme trop pauvres ou stériles. —
re part, nous avons dit qu'on reprend d'anciennes
s et qu'on obtient, après scheidage et classement,
ertaine proportion de minerai dit pauvre et de me-
**).

1876, 63.246 tonnes (il s'agit ici, comme dans tout
émoire, de la tonne de 2.000 *livres avoir du poids*, va-
907,185 kilog.) de roches de toutes natures ont été
tes à la surface, savoir :

	tonnes.
e la galerie de l'Usine.	2.301
es puits et galeries.	21.198
es chambres à minerai.	39.761
Total.	63.246

(*) Voir page 405.

(**) Les anciens remblais et anciennes haldes constituent les réserves des mines de New Almaden ; au besoin, on peut en ...squ'à 700 tonnes de menus par mois.

Les 39.751 tonnes provenant des chambres à minerai ont fourni 4.521 tonnes de minerai riche et 8.729 de menus, en tout 13.250 tonnes utilisables, soit 33,3 p. 100.

La galerie de l'Usine à part, les quantités extraites des mines ont atteint 60.945 tonnes, dont 7,50 p. 100 de minerai riche, 14,50 de menus et 78 de roches rejetées.

D'autre part, 3.633 tonnes de minerai pauvre et de remenus ont été retirées des anciennes haldes ; ce qui porte à 16.883 tonnes la production totale en minerais bons à traiter.

La production de 1876 se décompose ainsi par provenances :

		tonnes.
Minerai riche.	— Ancienne mine.	3.412
Idem.	— San Francisco.	412
Idem.	— Cora Blanca.	685
Idem.	— Valasco.	12
Minerai menu.	— Mines.	8.729
Idem.	— Haldes	748
Minerai pauvre.	— Haldes.	2.885
		16.883

En comparant la production de 1876 à celle de 1875, on trouve, en plus, 554 tonnes de minerai riche et 793 de minerai pauvre, et en moins, 1.875 tonnes de minerai menu (*).

En 1876, on a fait 2.096 mètres de fonçage ou percement, dont 174 pour puits d'extraction et accrochages, et 1.922 pour galeries et cheminées de recherches, de communication, de ventilation (y compris 147 mètres d'avancement à la galerie de l'Usine, interrompue en octobre).

La totalité des frais d'abatage, de recherches, de boisage, d'extraction, etc., a atteint, en 1876, la somme de 1.547.100 francs, dont 195.900 francs de matériaux

(*) L'approvisionnement de l'usine en menus étant surabondant, on a repris moins d'anciens remblais.

ɔis par la compagnie et consommés par les mines (*), ʒue bois équarris, buttes et garnissages, combustibles, ɔines et appareils divers, outils, chemins de fer, quinɔrie, etc., et 1.351.200 francs de main-d'œuvre, comɔant la presque totalité des dépenses en explosifs, ères, etc., qui sont fournis par les mineurs, lesquels payés en conséquence (sur les 116.460 francs d'exɔfs et de lumières dépensés en 1876, 104.690 francs été fournis par les mineurs travaillant à forfait et par rat).

ɔs frais de main-d'œuvre se décomposent ainsi :

		francs.
ɔbatage de minerai, à la tonne		533.480
ɔcheidage	Idem	61 470
ɔlinerai pauvre	Idem	70.510
ɔenus	Idem	29.870
ɔransport des minerais et menus en wagon		21.040
ɔoulage sur rails		118.580
ɔercement de puits et galeries, au mètre		338.570
ɔoiseurs et mineurs à la journée		59.560
ɔlain d'œuvre spéciale		97.170
ɔurveillants		20 950
Total		1 351.200

ɔ travail à la journée est généralement adopté sur ôte Pacifique : nous donnons à la fin de ce travail es 430 et 431) un tableau des salaires journaliers des mis, mécaniciens, manœuvres, etc., dans différentes es de la Californie et du Nevada, au mois de décembre ɔ. A New Almaden, le travail par contrat et à forfait montré plus avantageux ; à la même époque, le mine gagnait guère, tout compte fait, que 8f,40 par ɔée de 10 heures (moyenne prise sur 333 mineurs);

(*) Y compris les frais d'entretien et de réparation, mais non ɔais d'installation (machine d'extraction et outillage du puits , etc).

un an auparavant, il gagnait 14f,80 (289 mineurs); depuis lors, les prix ont constamment baissé jusque et pendant 1876. — Le nombre moyen d'hommes employés par les mines, en 1876, a été de 414, dont 40 Chinois au scheidage.

1.487.597 francs, totalité des frais des mines, répartis sur 63.246 tonnes, chiffre de l'extraction, font 24f,40 par tonne extraite (*). Le prix de revient moyen de la tonne de minerai, en général, a été de 88f,10; le prix de revient de la tonne de minerai riche a été de 131f,30 (67f,20 de moins qu'en 1875), dont 15f,50 pour le scheidage.

Le percement de la galerie de l'Usine (2m,25 sur 2m,25 entre les cadres) avait été poursuivi sans interruption en 1875. Pendant les neuf premiers mois de l'année, on s'est servi de perforateurs mécaniques; l'avancement a été 324 mètres, qui sont revenus en moyenne à 405f,06 le mètre. La roche étant devenue tendre, le travail a continué à la main, par contrat; l'avancement pendant les trois derniers mois a été de 52 mètres, qui sont revenus en moyenne à 410f,30 le mètre.

Le tableau suivant résume les opérations des mines de New Almaden pendant six années, de 1871 à 1876.

ANNÉES.	MINERAIS DE TOUTES CLASSES produits par les mines.				MAIN-D'ŒUVRE par tonne.
	Riche.	Pauvre.	Menu.	Total.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.
1871	6.671	834	3.630	11.135	136,50
1872	4.716	1.116	4.884	10.716	150,60
1873	2.939	1.336	9.326	13.601	105,45
1874	2.871	2.907	12.782	15.560	92,20
1875	3.963	2.093	13.552	17.408	96,90
1876	4.521	2.885	9.477	16.883	80,00
Total et moyenne	25.681	11.171	51.451	88.303	105,50

(*) Le prix de revient réel de la tonne extraite est un peu inférieur : il faudrait défalquer les frais relatifs aux reprises des anciennes haldes.

Les frais de matériaux fournis par la compagnie ont été, n 1876, de 11f,60 par tonne.

TRAITEMENT.

La métallurgie du mercure en Californie a été de notre art l'objet d'un article spécial dans le *Bulletin de la Société 'Encouragement* (*). « Elle vient de subir dans ce pays ne transformation rapide et intéressante. Les Américains ont enrichie d'un grand nombre d'appareils nouveaux, lont plusieurs fort ingénieux; ils se sont attachés, parfois eut-être aux dépens du rendement, à réduire les frais de raitements spéciaux. Ces frais, généralement considérés omme très-faibles par rapport à la valeur créée, avaient n Californie une importance inusitée, avec le prix élevé le la main-d'œuvre, avec la nature des minerais la plupart nenus et pauvres, enfin avec la baisse énorme des cours lu mercure dans ces derniers temps. La connaissance xacte des pertes au traitement permettrait seule de porter in jugement décisif sur la valeur des divers systèmes améicains; malheureusement elle fait défaut. Jusqu'à ce jour, a teneur des minerais est estimée à l'œil (**), et on ne conaît que le rendement à l'usine. »

L'usine de New Almaden sera la seule dont nous parleons ici, et fort brièvement. Le traitement y est bien enendu, et nous ne doutons pas que les pertes y soient ensiblement moindres que dans la plupart des usines aliforniennes. Nous avons indiqué plus haut (***) les renements moyens des diverses classes de minerais de New lmaden : on a vu que l'assortiment est varié quant au

(*) G. Rolland. La Métallurgie du Mercure en Californie. *Bulletin de la Société d'Encouragement, pour l'Industrie nationale*, 7e année, 3e série, tome V, page 487 (septembre 1878).

(**) L'essai des minerais avant traitement vient seulement d'être naugurė à New Almaden.

(***) Page 405.

calibre et quant à la teneur, et comprend une certaine proportion de gros et de riches, fait assez rare en Californie.

A la fin de 1876, l'usine de New Almaden possédait huit fours en opération, savoir : cinq fours intermittents, deux fours continus pour gros, un four continu pour menus.

Les fours intermittents sont de l'ancien système d'Idria, modifié en vue de réduire les frais de traitement et d'entretien. Leur nombre diminue à New Almaden, comme dans toute la Californie, où ils n'auront bientôt plus de représentant ; ils sont remplacés avantageusement par les fours continus, qui ne grillent pas mieux, mais plus économiquement. — Les fours continus pour gros sont du nouveau système d'Idria, légèrement modifié. Le minerai à griller forme une colonne descendante dans une cuve verticale ; il est traversé sur toute sa hauteur par un courant inverse et ascendant de flammes, gaz et vapeurs. Ce système est très-recommandable, mais ne s'applique qu'à un minerai suffisamment gros de calibre. — Le four continu pour menus est d'invention américaine. C'est une sorte de four à cuve verticale, que les menus à griller remplissent, sauf de nombreux passages horizontaux, ménagés artificiellement pour les flammes au travers de la masse compacte et au contact du minerai ; celui-ci subit d'ailleurs un rablage automatique lors de la descente de la colonne. Cet appareil ingénieux a réalisé un progrès considérable, en permettant de traiter tels quels les menus, qui devaient auparavant être agglomérés au moyen de terre et transformés en briquettes (*adobes*) (*). — La construction des nouveaux fours est fort soignée. Les fuites mercurielles par les fissures des parois sont prévenues au moyen de revête-

(*) D'autres fours continus et automatiques pour menus, fonctionnent aux usines de Redington, de Sulphur Bank, etc. ; ils sont appelés à se répandre de plus en plus en Californie, vue la proportion dominante des menus dans les minerais de ce pays.

nts métalliques étanches, et les pénétrations de mercure
is les fondations par interposition de plaques de fonte.
.a condensation des vapeurs mercurielles est, comme
sait, le point délicat de la métallurgie du mercure; elle
père en Californie à l'aide des appareils les plus variés;
semble fort satisfaisante dans les nouvelles installations
New Almaden. En tête de la série des appareils de con-
isation se trouvent une ou deux chambres en briques,
c soles et plafonds métalliques : elles résistent à la tem-
ature élevée des gaz sortant du four; elles offrent de
nds volumes, où il y a détente, et par suite refroidis-
nent et surtout dépôt des poussières entraînées; les
fonds servent d'aires de séchages. Puis viennent un ou
ix condenseurs en fonte, avec chicanes et circulation
au : ils offrent beaucoup de surfaces condensantes, et
it bons conducteurs de la chaleur; vue leur place dans
série, ils condensent surtout du mercure et peu d'eaux
des, et, par suite, ne se corrodent guère; mais ils étran-
nt le courant et doivent être en nombre très-limité. Le
te de la série comprend de grands condenseurs en bois
verre, aussi nombreux que le tirage le permet : les va-
irs mercurielles y séjournent longtemps au contact de
reaux de vitre multiples, qui, malgré leur nature et
ce à leur minceur, ont une action condensante très-
cace, et qui sont inattaquables aux eaux acides.

New Almaden, le tirage a lieu par cheminée. Il est fort
t, ce qui est nécessaire pour une condensation et un dépôt
sfaisants du mercure, mais moins régulier qu'avec le
itilateur, lequel a été adopté par la plupart des usines
forniennes.

.es fours intermittents de New Almaden sont capables,
de 100 tonnes, l'autre de 50 tonnes de minerai par
ration. La proportion des briquettes de menus varie du
irt à la totalité de la charge. Supposant la totalité des
rges en briquettes, rendant 1 p. 100 de mercure, on

trouvait, en 1875, que le prix de revient moyen du mercure dans les cinq fours intermittents était de 3f,44 par kilogramme; les frais de traitement par tonne de menus, traitée dans le four de 100 tonnes, étaient de 21f,35. En 1876, dans le même four, ces frais s'établissaient ainsi :

		francs.
Par tonne de minerai non menu.	Main-d'œuvre.	3,27
	Bois (à 8f,60 le stère).	6,97
	Total.	10,24
Par tonne de menus.	Traitement proprement dit. . . .	10,24
	Fabrication et manutention des briquettes.	4,94
		15,18

Les fours continus pour gros traitent le minerai le plus gros et le plus riche; on prolonge le grillage et la condensation, et on ne passe que 10 tonnes par four et par 24 heures. En 1876, le rendement moyen en mercure était de 10,42 p. 100 du minerai traité, et les frais de traitement s'établissaient ainsi :

		francs.
Par tonne de gros. .	Main-d'œuvre.	2,71
	Bois (à 8f,6 le stère).	2,43
	Coke (à 67f,60 la tonne.	1,01
		6,15
Par kilogramme de mercure produit.		0,07

Le four continu pour menus ne date que de la fin de 1876; pendant ses 39 premiers jours de marche, il a passé par 24 heures 24 tonnes de menus, dont le rendement moyen en mercure a été de 1,40 p. 100. Les frais de traitement s'établissaient ainsi :

		francs.
Par tonne de menus.	Main-d'œuvre.	3,23
	Bois (à 8f,6 le stère).	5,38
	Total.	8,61
Par kilogramme de mercure produit.		0,68

Le tableau suivant résume les opérations de l'usine de New Almaden pendant six années, de 1871 à 1876.

ANNÉES.	MINERAIS DE TOUTES CLASSES traités par l'usine. Riche.	Pauvre.	Menu.	Total.	MAIN-D'ŒUVRE des fours par tonne.	COMBUSTIBLE par tonne.	SOMME de la main-d'œuvre des fours et du combustible par tonne.	MAIN-D'ŒUVRE de l'usine, moins celle des fours, par tonne.	SOMME de la [illegible]
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.	francs.	francs.	francs.	[illegible]
1871	6.169	661	4.186	11.016	5,30	7,55	12,85	8,50	[illegible]
1872	5.171	1.288	4.249	10.708	5,25	7,70	13,00	10,85	[illegible]
1873	2.910	1.336	4.419	8.665	5,50	8,95	14,45	19,45	[illegible]
1874	2.906	2.742	6.080	11.728	5,20	9,00	14,20	21,45	[illegible]
1875	3.918	2.200	9.435	15.553	5,30	8,95	14,20	13,85	[illegible]
1876	4.511	2.881	9.266	16.658	4,80	8,00	12,80	10,95	[illegible]
Total...	25.585	11.108	37.635	74.328	»	»	»	»	»
Moyenne	»	»	»	»	5,20	8,35	13,55	13,85	[illegible]

Le nombre moyen d'hommes employés par l'usine de New Almaden a été, en 1876, de 60 aux fours en opération et aux travaux courants. Les frais par tonne en fournitures consommées par l'usine (*) ont été, en retranchant le combustible, de 9f,60, et en retranchant le combustible et les bouteilles en fer pour mercure, de 2f,90.

PRIX DE REVIENT.

Nous résumerons comme il suit les principaux éléments du prix de revient du mercure à New Almaden pendant l'année 1876.

		francs.	francs.
Dépenses (mines et usine).	Main-d'œuvre (**).......	1.613.400	
	Fournitures (***)........	488.800	
	Dépenses diverses, impôts, etc.	157.700	
			2.259 900

(*) Y compris les frais d'entretien et de réparation, mais non les frais d'installation (construction de nouveaux fours, additions, etc.). Le nombre moyen d'hommes employés à ces travaux d'installation a été de 21.

(**) Les frais de main-d'œuvre comprennent, entre autres articles, 21.500 francs pour réparations aux mines et à l'usine.

(***) Y compris les frais de fournitures pour réparations aux

A déduire.	Accroissement d'approvisionnement de minerai à l'usine.	francs. 8.300	
	Revenus divers.	165.900	francs.
			174.200
Reste.			2.085.700
A répartir sur une production en mercure de.			kilog. 712.845
Prix de revient moyen du kilogramme de mercure. . .			francs. 2,93

Le prix de revient moyen par mois à varié de 4f,56, en juin, à 1f,56, en octobre, les productions de ces mois ayant été respectivement de 39.547 et 81.764 kilog. — La valeur commerciale du kilog. de mercure, pendant la même année 1876, a été en moyenne, de 5f,70 : soit 2f,77 de bénéfice par kilog. produit.

Si l'on compare les chiffres de 1876 à ceux de 1875, on trouve que la production du mercure à New Almaden a augmenté de 50,56 p. 100, que le prix de revient moyen a diminué de 42,00 p. 100, et que la valeur moyenne a diminué de 23,66 p. 100.

IV. — STATISTIQUE.

PRODUCTION.

La mine de New Almaden a été ouverte, avons-nous dit, en 1845; elle semble n'avoir été exploitée que sur une

mines et à l'usine, qui ont été de 26.100 francs, mais non pour installations nouvelles.

Les frais totaux pour installations nouvelles, en 1876, à New Almaden, n'ont pas été inférieurs à 424.500 fr., dont 350.000 fr. environ à l'usine.

faible échelle de 1845 à 1850, période pendant laquelle

production totale (*). Voici les productions respectives des diverses mines de l'État en 1876 et 1877.

MINES.	1876 — BOUTEILLES.	1877 — BOUTEILLES.
New Almaden	20.631	24.079
Sulphur Bank	8.732	11 303
Redington	9.183	9.400
New Idria	7.272	6.560
Guadalupe	7.381	6.241
Great Western	4.495	5.875
Oceanic	2.416	2.628
Napa Consolidated	582	2.366
Saint-John	2.085	2.000
California	1.184	1.490
Altoona	2.000	1.417
Oakland	2.150	1.395
Cloverdale	1.028	1.300
Sunderland	1.570	1.200
Abbott	1.436	836
Great Eastern and Jackson	?	505
Buckeye	407	466
Manhattan	976	457
Phœnix	300	250
Autres mines	1.246	600
Total	75.074 = 2.604.317 kilog.	80.368 = 2.787.966 kilog.

Pendant une vingtaine d'années, New Almaden fut à peu près le seul producteur de mercure en Californie. En 1865, c'était la première mine de mercure du monde : en un an, elle fournissait jusqu'à 47.194 bouteilles, tandis que l'Almaden d'Espagne n'a jamais dépassé 32.336. Puis sa production diminua ; elle tomba jusqu'à n'être que de 9.084 bouteilles en 1874, époque où l'on crut à son épuisement. Le vide laissé par elle ne fut qu'en partie comblé par les nouvelles mines de New Idria et de Redington, et, en 1873, la production totale de la Californie était de

(*) La mine d'Almaden, en Espagne, a fourni de 1564 à 1875, en trois siècles, 120.179.600 kilog. de mercure, dont plus de la moitié depuis 1800. De 1865 à 1875, elle a produit, en moyenne, 1.110.196 kilog. par an. — La mine d'Idria, en Autriche, a produit annuellement, de 1867 à 1877, en moyenne 360.324 kilog. de mercure et 66.042 de cinabre artificiel.

..600 bouteilles seulement. Cependant, la hausse continue rapide des cours du mercure, les bénéfices considérables s rares mines productives, l'abondance et la proximité des leurements cinabrifères attirèrent de plus en plus l'atten- n sur ce métal, devenu presque précieux, dont la nature, tre autres mille richesses, avait doté la Californie, pro- quèrent une période d'actives recherches, et amenèrent découverte et la mise en exploitation d'une série de gise- ents plus ou moins importants : ce fut un *quicksilver-excite- ent*. Au commencement de 1875, il y avait dans les Coast inges plus de 42 mines de mercure en exploitation, et leur mbre devait encore s'accroître, malgré la baisse survenue ns les cours. Une des plus récentes, Sulphur Bank, pre- it une extension étonnamment rapide : ouverte en octo- e 1874, elle fournissait 5.801 bouteilles dès 1875, 8.732 1876, 11.303 en 1877. En même temps, New Almaden se levait, Redington et New Idria se développaient. La pro- iction totale de 1875 était de 50.236 bouteilles : chiffre ii dépassait les plus élevés jamais atteints sur la côte icifique, mais qui, l'année suivante, devaient être laissés in en arrière. En 1876, la Californie livrait la quantité vrai- ent énorme de 75.074 bouteilles de mercure, et en 1877, icore davantage, 80.368. Un tel accroissement de produc- n est d'autant plus remarquable qu'il n'a été dû qu'à ielques mines et a eu lieu malgré la diminution du nombre s producteurs. En effet, l'avilissement bientôt extrême s cours du mercure laissant peu ou pas de marge aux ofits dans les conditions moyennes d'exploitation et de neur des minerais californiens, une série de mines se nt vues amenées successivement, les moins favorisées à rêter complétement leurs travaux, d'autres, pleines d'ave- r peut-être, à les suspendre temporairement : en somme, us de la moitié des mines de mercure des Coast Ranges ômaient en automne 1876, et des centaines de conces- ons étaient abandonnées comme sans valeur. Parmi les

mines qui, mieux outillées ou disposant de meilleurs minerais, ont continué leurs opérations, la plupart, comme New Almaden, la ralentissent à dessin et de plus en plus, et mettent en magasins une partie de leur production, en attendant des prix plus rémunérateurs. Aujourd'hui, Sulphur Bank seule, grâce à sa situation exceptionnelle, pousse activement les travaux et réalise de gros bénéfices : son importance augmente chaque jour.

CONSOMMATION.

Le tiers environ de la production actuelle est consommé par le Nevada et la Californie, qui sont, comme on sait, les deux grands producteurs de métaux précieux de l'Ouest américain, et dont les minerais d'or et d'argent sont traités presque exclusivement par amalgamation. Dans ces dix dernières années, la consommation du Nevada a constamment augmenté, surtout depuis la découverte de la *great bonanza* (grand amas de minerai riche), dans le filon déjà fameux du Comstock (*), en 1874; la consommation de la Californie varie peu, mais tend plutôt à diminuer. En chiffres ronds, le Nevada produit aujourd'hui par an pour 250 millions de francs de métaux précieux, dont les deux tiers d'argent, et la Californie pour 100 millions, dont les trois quarts d'or.

Le mercure de Californie alimente également la métallurgie de l'or et de l'argent dans les autres états et territoires de l'Ouest, Colorado, Montana, Idaho, etc. Une quantité relativement faible est expédiée à New-York par chemin de fer.

Le reste est exporté par mer. Le tableau suivant donne les exportations annuelles par mer de 1852 à 1877.

(*) P. L. Burthe. Notice sur les gisements des minerais d'argent, leur exploitation et leur traitement métallurgique au États-Unis. *Annales des mines*, tome V, page 231.

ANNÉES.	BOUTEILLES.	ANNÉES.	BOUTEILLES.
1852.	900	Report.	282.439
1853.	12.737	1865.	42.469
1854.	20.963	1866.	30.287
1855.	27.165	1867.	28.853
1856.	23.740	1868.	44.506
1857.	27.262	1869.	24.415
1858.	24.142	1870.	13.788
1859.	3.399	1871.	15.205
1860.	9.448	1872.	13.089
1861.	35.995	1873.	6.359
1862.	33.747	1874.	6.770
1863.	26.014	1875.	28.960
1864.	36.927	1876.	41.140
		1877.	46.280
A reporter.	282.439		
	Total de 1852 à 1877.		694.560 =21.702.060 kilog.

Ainsi les deux tiers du mercure produit jusqu'à ce jour en Californie ont été exportés par mer. Aujourd'hui l'exportation porte encore sur plus de la moitié de la production totale : en 1876 et 1877, elle s'est décomposée comme il suit :

DESTINATIONS.	1876 — BOUTEILLES.	1877 — BOUTEILLES.
Chine.	24.526	31.210
Mexique.	7.400	8.350
Amérique méridionale (Pérou, Chili, Bolivie, etc.).	3.599	3.544
Australie.	793	1.550
New York.	3.094	818
Japon.	427	388
Nouvelle-Zélande.	410	270
Amérique centrale.	205	80
Calcutta.	—	50
Colombie anglaise.	36	19
Honolulu.	—	1
Angleterre.	650	—
Total.	41.140 = 1.427.145 kilog.	46.280 = 1.605.450 kilog.

Jusque vers 1869, la majeure partie du mercure de Californie était exporté par mer; elle allait en Chine, au Mexique, etc. De 1870 à 1874, l'exportation diminua graduellement, ce qui tint, d'une part, à la diminution de la

production, d'autre part, à l'accroissement de la consommation de la côte Pacifique : en 1873 et 1874, l'excédant devint presque nul, et l'immense industrie minière de l'Ouest américain put craindre un instant de manquer de son pain, le mercure. Mais aussitôt la production se releva tellement que la Californie put non-seulement répondre à la demande indigène, mais reprendre sa clientèle étrangère momentanément perdue.

La Chine est de beaucoup le meilleur client de la Californie pour son mercure. Elle achète également à Londres du mercure espagnol. Tout ce mercure est transformé en vermillon : le vermillon chinois est renommé pour sa couleur belle et durable, et se vend dans le monde entier, y compris les pays qui exportent le mercure ; il est, en effet, d'une qualité supérieure à tous les autres, et son procédé de fabrication n'est pas connu (*).

Après la Chine, nous citerons encore le Mexique. Ce pays produit lui-même environ 2.200 bouteilles de mercure par an, ce qui est insuffisant pour le traitement de ses minerais d'argent.

COURS.

Avant 1868, l'offre excédant, comme aujourd'hui, consi-

(*) On songe à New Almaden à transformer sur place le mercure en vermillon ou mieux, à tirer directement le vermillon du mineral de cinabre. — A Idria, en Autriche, on fabrique depuis longtemps du cinabre artificiel par voie sèche. Cette fabrication comprend : 1° la préparation de l'éthiops, mélange intime de soufre et de mercure ; 2° la transformation de l'éthiops en cinabre, par sublimation dans des cornues en fonte ; 3° la transformation du cinabre en vermillon, par une série de broyages et de raffinages, rendant de plus en plus fin et de plus en plus pur. Les produits de ces opérations sont : le *cinabre en morceaux*, les *vermillons rouge vif*, *rouge foncé* et *chinois*. Le déchet serait de 0,35 p. 100 du mercure traité. L'usine d'Idria a fabriqué, en 1859, jusqu'à 142.005 kilog. de cinabre artificiel, dont 129.123 de vermillon.

dérablement la demande, les cours de mercure étaient bas à San Francisco. De 1868 à 1873, ils montèrent, les trois principales mines, New Almaden, New Idria et Redington, s'entendant pour limiter leurs productions respectives et faire les prix : le kilogramme de mercure valait $6^{f},85$ en 1868, et $10^{f},86$ en avril 1873. A partir de cette époque, toute entente cessa : alors commencèrent dans les cours une série de fluctuations, dont nous ne chercherons pas à analyser les caprices, mais dont nous retracerons les phases principales dans le tableau suivant :

DATES.	FRANCS.
Avril 1873	10,46 le kilog.
Fin 1873	13,72 —
Novembre 1874	18,86 —
Fin 1874	17,72 —
Fin 1875	7,14 —
Juillet 1876	4,57 —
Fin 1876	5,71 —
Avril 1877	4,69 —
Août 1877	7,43 —
Fin 1877	5,37 —

La hausse de 1873 résulte de la coïncidence entre la diminution de la production et l'accroissement de la consommation indigène. Les nombreuses mines ouvertes alors dans les Coast Ranges demandèrent un certain temps pour produire. Cependant la Chine, le Mexique, etc., ne trouvant plus de mercure disponible sur le marché de San Francisco, s'adressèrent à celui de Londres, et cela au moment même où la production de l'Almaden d'Espagne diminuait. Ainsi tout concourrait pour faire monter les cours sur ces deux marchés, qui ont toujours réagi l'un sur l'autre. En novembre 1874, le kilogramme de mercure arrivait à valoir à San Francisco $18^{f},86$.

A une hausse exagérée succéda une baisse inévitable. Puis la production s'accrut tellement, que, malgré la reprise de l'exportation, malgré le développement des industries qui s'alimentent de mercure, cette baisse continua.

La dépression et bientôt l'avilissement complet des cours furent précipités par les grandes quantités de mercures jetées sur le marché, à des prix extraordinairement bas, par la nouvelle mine de Sulphur Bank, dont le prix de revient est, dit-on, inférieur à 2f,30. En juillet 1876, des ventes furent faites à San Francisco au prix inoui de 4f,57.

Depuis lors, malgré quelques essais de hausse à la fin de 1876 et au milieu de 1877, la dépression des cours a persisté. Elle persistera tant que la production sera en excès évident sur la consommation, ou, puisque la consommation indigène et étrangère ne semble pas devoir augmenter, tant que la production ne sera pas restreinte. Plusieurs tentatives ont déjà été faites, sans succès jusqu'ici, pour établir une entente entre les principales mines, afin de limiter leurs productions respectives et de faire monter les cours, qui, malgré les progrès de la métallurgie américaine, ne sont généralement pas rémunérateurs aux chiffres actuels.

Paris, janvier 1878.

TA-

donnant les salaires à la journée des mineurs, machinistes, ma-
à la fin

LOCALITÉS.	NOMBRE d'heures de travail.	CHARPENTIERS.	MAÇONS.	FORGERONS.
Spring Valley Water C°.		fr.	fr.	fr.
San Francisco	10	20,8	26,0	18,2
North Bloomfield Gravel Mining C°.				
Comté de Nevada, Californie	8 10 12	» 20,8 »	» » »	» 20,8 »
Idaho Gold Quartz Mine.				
Comté de Nevada, Californie	8 10 12	20,8 20,8 »	» » »	» 18,2 à 23,4 »
Sierra Buttes Gold Quartz Mine.				
Comté de Sierra, Californie	8 10	» 17,8 à 25,6	» »	» »
Eureka Plumas Gold Quartz Mine.				
Comté de Plumas, Californie	8 10	» 19,5 à 28,1	» »	» »
Chollar Potosi Silver Mine.				
Virginia City, Nevada	8 10	» 31,2	» »	» 26,0 à 31,2
Les autres mines du Comstock, à Gold Hill et Virginia City, payent des salaires aussi élevés que la Chollar Potosi				
Risdon Iron and Locomotive Works.				
San Francisco	10	»	»	18,2 à 20,8
Guadalupe Quicksilver Mine.				
Comté de Santa Clara, Californie	10	18,2 à 20,8	15,6 à 31,2	18,2
New Almaden Quicksilver Mine.				
Comté de Santa Clara, Californie	10 12	15,6 à 20,8 »	20,8 à 26,0 »	17,3 à 20,8 »

BLEAU

nœuvres, etc., en différents points de la Californie et du Nevada, de 1875.

MÉCANICIENS.	MACHINISTES.	MINEURS au rocher.	MINEURS des graviers aurifères et hommes aux ajutages.	BOISEURS et hommes aux pompes.	ROULEURS.	MANŒUVRES.	SURVEILLANTS de mine.
fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
»	18,2	»	»	»	»	10,4	»
»	»	15,6	»	»	»	»	»
»	»	»	15,6 à 18,2	»	»	15.6	26,0
»	»	»	19,5	»	»	»	»
»	»	15	»	18,2	»	»	»
»	18,2	»	»	»	15,6	14,3 à 15,6	»
»	18,2 à 20,8	»	»	»	»	»	»
»	»	14,2	»	»	»	»	»
»	23,0	12,2 à 14,2	»	16,2	11,2	9,4 à 10,2	28,2
»	»	15,6	»	»	»	»	»
»	25,3	13,4 à 15,6	»	17,8	12,3	10,3 à 11,2	36,2
»	26,0	20,8	»	»	»	»	31.2
»	»	»	»	26,0	23,4	18,2	49,9
15,6à 20,8	17,3 à 26,0	»	»	»	»	10,4 à 13,0	»
»	18,2 à 20,8	15,6	»	»	13,0	10,4	»
15,6 à 26,0	»	»	»	15,6 à 18.2	13,0	12,0	»
»	15,6	»	»	»	»	13,0	31.2

TABLE DES MATIÈRES.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

ABEL TRANSON,

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES,

Par M. TOURNAIRE, inspecteur général des mines.

Cette notice est consacrée à la mémoire d'Abel Étienne Louis Transon, ingénieur en chef en retraite et ancien examinateur d'admission à l'École polytechnique, qui est décédé le 23 août 1876. Doué à la fois d'une grande aptitude pour les investigations mathématiques et d'une âme enthousiaste et artiste, qui s'éprenait des idées généreuses et savait les exprimer avec une puissance communicative, il a laissé d'importants travaux de géométrie et d'analyse et a brillé d'un vif éclat parmi les hommes marquants qui ont illustré la première période de la prédication Saint-Simonienne.

Il naquit à Versailles à la fin de 1805, y fit ses études avec de nombreux succès, et, après avoir remporté le grand prix de mathématiques au concours général, fut reçu en 1823 à l'École polytechnique. Son admission eut lieu dans une circonstance singulière. Au début de l'examen (les candidats n'en passaient alors qu'un seul), ayant mal saisi une question, il se déconcerta et quitta la salle. Heureusement son professeur était présent et courut sur les pas du fugitif : l'examinateur voulut bien reprendre l'interrogation suspendue. Pourtant Transon ne fut au nombre des élus que grâce à une liste supplémentaire. L'année suivante, comme au classement final, il occupait le premier rang de sa promotion.

En sortant de l'École des mines, il ne prit point de service public. Il ne voulait pas s'éloigner de son père ma-
e, et les tentatives de rénovation et d'organisation
iales, qui s'agitaient alors, s'étaient emparées de son
rit et le passionnaient.

Vers 1830, il était devenu adepte du Saint-Simonisme,
:c plusieurs jeunes ingénieurs de notre corps, Jean Rey-
ıd, Fournel, M. Michel Chevalier.

La jeunesse d'aujourd'hui a sans doute peine à com-
ndre qu'au temps de ses devanciers des théories étran-
es à l'expérience et nées de méditations solitaires, qui,
aide d'ingénieuses combinaisons, prétendaient changer
idement la face du monde, aient trouvé si accessibles à
'oi, si promptes à l'action et à la propagande, des intelli-
ıces d'élite, façonnées par leur éducation à la rigueur
raisonnements scientifiques. Car nos caractères et
re tempérament moral ont depuis lors beaucoup changé,
ıs les classes cultivées comme dans le milieu populaire,
suite des échecs qu'ont subis les conceptions systéma-
ues dès qu'elles ont été placées en présence de la réalité,
des dures leçons que nous ont données les événements.
us avons vu les plus capables parmi les novateurs tenir
estime la prudence et l'attention aux faits journaliers
contingents, s'en remettre volontiers au temps et au
ırs naturel des choses, tandisque beaucoup de partisans
institutions déchues semblaient hériter de la fougue
'olutionnaire. Cependant les utopies écloses dans la pre-
ère partie du siècle, qui n'ont pu supporter en 1848
preuve de la liberté, procédaient de cette idée en elle-
me philosophique, que, les bases de l'ancienne société
nt ruinées en partie, devait surgir un ordre de lois et
croyances différent de celui que le passé avait connu.
ılleurs les grands mouvements religieux qui ont trans-
mé non-seulement les usages et les mœurs, mais l'âme
me des nations, n'ont-ils pas présenté aux yeux des

contemporains de leurs origines tous les caractères de ce que nous appelons utopie? Volontiers en 1830 on attendait la religion nouvelle : volontiers on en saluait les prophètes.

Il semble aussi que nous ayons besoin de faire une part à l'imagination dans nos spéculations les plus sérieuses. Si les théories humanitaires ont de nos jours perdu leur crédit, n'est-il pas étrange que la fantaisie ait envahi un des domaines de la science, que des naturalistes éminents, entourés de nombreux disciples, aient cru pouvoir déduire des belles observations de Darwin et de ses aperçus sagaces et féconds, mais très-insuffisants pour un tel objet, une genèse complète et détaillée des êtres vivants, si précise en ses résultats qu'elle nous a décrit des animaux dont on n'a pas encore découvert les vestiges?

Dans le Saint-Simonisme, Transon collabora à la rédaction du *Globe* et devint surtout célèbre par les éloquentes prédications qu'il prononça aux réunions publiques de la salle Taitbout. Selon les procédés que l'École sociale affectionnait et que bien peu parmi ses frères en croyance ont mis en œuvre avec un égal talent, le dogmatisme et la critique historique y prennent une forme transcendante et inspirée, qui en voile les impossibilités et les lacunes. Mais ce qui entraîne surtout en lui est l'accent convaincu de l'apôtre. L'esprit de fraternité et l'amour des hommes pénètrent sa parole : elle abonde en élans de charité et peint en fortes images les souffrances et les misères auxquelles sont exposées les classes adonnées aux travaux les plus rudes, pour réclamer les remèdes que promettait l'enseignement du maître. Par là elle a vivement agi sur les âmes portées à l'abnégation et à la tendresse, et beaucoup de ses auditeurs et auditrices en ont jusqu'à leurs derniers jours gardé la vive impression.

Quelque-unes de ses allocutions n'ont pas péri et méritent d'être conservées, à cause de leur beauté et comme

un curieux témoignage de la marche des idées en notre siècle. Nous citons notamment les cinq discours adressés aux élèves de l'École polytechnique (*) et un discours sur l'éducation (**).

En 1831, les discussions sur le rôle de la femme et sur les lois qui doivent régir le lien conjugal, dont l'abolition de l'hérédité et l'éducation commune diminuaient d'ailleurs grandement l'importance, amenèrent un schisme retentissant. Transon répugnait par tous ses instincts à des doctrines qui auraient conduit au relâchement des mœurs : après quelques fluctuations, il suivit l'exemple de Bazard et de Pierre Leroux et abandonna, au commencement de 1832, Enfantin et ses fidèles, qui s'établirent à Ménilmontant.

Dès cette époque, il avait cru trouver la vérité plus entière et plus logiquement déduite dans la théorie de Fourier, et en effet, à part ce qu'il y a d'arbitraire dans le poétique développement de ses descriptions, l'éden rêvé par Fourier devient une prédiction logique si l'on admet à priori que la fin providentielle de l'humanité est la suppression de toute souffrance et la réalisation ici-bas d'un bonheur accompli.

De même que la nouvelle école fut inférieure à la précédente en science et en vues philosophiques, de même les écrits phalanstériens de Transon qui sont restés n'égalent ni l'originalité, ni la vigueur de sa prédication saint-simonienne. Des doutes, semble-t-il, vinrent l'assaillir assez promptement et s'accrurent lorque fut tenté un essai de colonisation à Condé-sur-Vesgres, qui ne manqua pas de se heurter à des difficultés nombreuses. On le voit dans une correspondance particulière demander que la formule

(*) Ils se trouvent encore dans la librairie Capelle, rue Monsieur-le-Prince.

(**) Les œuvres de Saint-Simon et d'Enfantin, en publication à la librairie Dentu, en contiennent un extrait étendu.

de la naissante phalange devienne plus élastique, plaider la cause des sociétaires amoureux de leur chez soi et qui, plutôt que d'y renoncer tout à fait, sacrifieraient une partie des avantages économiques de la vie commune. Les chefs au contraire résistaient à ces légitimes, mais dissolvantes revendications.

Il se sépara du Fouriérisme en 1834, et profondément ébranlé par les déceptions de sa foi, se recueillit plusieurs années soit à Versailles, soit à Paris, plongé dans les études de métaphysique et de religion et dans la lecture des livres qui en traitent, notamment des œuvres de Wronski, dont il fut admirateur. Ces méditations furent traversées par de longues crises de découragement, qui s'étaient déjà produites durant son apostolat saint-simonien.

Il en sortit entièrement catholique et le resta jusqu'à la fin de sa vie. L'antique croyance lui donnait des réponses précises aux questions relatives à notre destinée finale et à la rétribution de nos mérites et de nos fautes, qui l'avaient tourmenté infructueusement quand il avait voulu les résoudre par la science, et satisfaisait aux mystiques et artistiques aspirations de son âme. La vie de communauté, consacrée soit à l'étude ou à la contemplation pure, soit au soulagement des misères physiques ou mieux encore à la réhabilitation des misères morales, lui paraissait volontiers, comme aux premiers chrétiens, l'idéal de perfection que l'homme pût atteindre, quoiqu'il se soit toujours fait scrupule de pousser personne au renoncement du monde, et cela faisait comprendre l'attraction que les écoles sociales avait eue autrefois pour lui. Il inclinait en matière de doctrine aux interprétations qui laissent une place à l'indépendance individuelle, et les efforts du père Lacordaire, plus tard ceux du père Gratry, qui fut son ami, pour concilier le catholicisme avec les tendances libérales et démocratiques des nations modernes eurent toutes ses sympathies. Il accepta pourtant avec une complète et immédiate

soumission les décisions très-autoritaires qui prévalurent. Il évita d'ailleurs avec soin, à partir de sa conversion, de s'immiscer aux discussions publiques, regrettant ses hardiesses d'autrefois, dont le souvenir aurait nui à l'influence de sa parole, et devenu méfiant envers sa propre raison. De grands dons naturels furent ainsi stérilisés, non sans dommage, pendant la plus longue période de sa vie. Ils reparaissaient par éclairs dans sa conversation ou sa correspondance, et ceux qui jouirent de son intimité purent souvent s'apercevoir que la flamme était couverte, mais non pas éteinte.

Lorsqu'un suffisant repos fut entré en son esprit (il ne connut jamais le calme complet, incapable qu'il fut de se résigner à la vue du mal et à l'ignorance des objets les plus dignes de nos pensées), il se remit à cultiver les mathématiques, et ces études, dans lesquelles il s'est montré inventeur ingénieux et généralisateur habile, n'ont depuis lors cessé de l'occuper. Elles ont porté sur de nombreux et divers problèmes, de préférence sur ceux qui se rattachent aux points fondamentaux de nos connaissances en algèbre et en géométrie, aux conceptions philosophiques qui les dominent, ou que par l'emploi de leurs symboles elles ont suscitées sans les avoir prévues. Les résultats qu'il a obtenus, toujours présentés avec élégance et clarté, ont été publiés en plusieurs recueils, le journal de M. Liouville, le journal de l'École polytechnique, et plus abondamment dans les Nouvelles Annales. Nous allons non pas les exposer, ce qui exigerait beaucoup trop de développements, mais en rappeler le plus succinctement possible les principaux.

Recherches sur les courbures des lignes et des surfaces (*Journal de M. Liouville*, 1841. *Nouvelles annales de mathématiques*, 2e série, 1870). — Pour étudier la courbure d'une ligne plane, on se borne d'ordinaire à chercher les grandeurs et les positions des cercles osculateurs, c'est-à-dire de ceux qui ont trois points consécutifs

infiniment voisins communs avec la ligne donnée. On peut rendre cette notion plus approfondie en substituant au cercle la conique osculatrice, qui passe par cinq points consécutifs. Une infinité de coniques satisfont à la condition de passer par quatre de ces points et d'avoir ainsi avec la ligne un contact plus intime que le cercle. Toutes ont un diamètre commun, qui aboutit au point de contact et dont le conjugué est parallèle à la tangente. L'angle de ce diamètre et de la normale, que Transon nomme déviation, s'exprime par une formule des plus simples en fonction des rayons de courbure de la ligne donnée et de sa développée.

Après avoir établi ces principes, l'auteur en fait une belle application à la théorie des surfaces. Il montre que, si l'on conduit divers plans sécants par une même tangente, une seule des sections correspond à une déviation nulle et celle qui lui est perpendiculaire correspond à la déviation maximum, que la tangente trigonométrique de la déviation, pour une section quelconque, s'obtient en multipliant celle de la section correspondant au maximum par le cosinus de l'angle que font entre eux ces deux plans; enfin, ce qui est une conséquence des propositions précédentes, que les axes de déviation (ou diamètres des coniques plus haut définies) relatifs à une même tangente sont contenus dans un plan. Il montre aussi que, parmi toutes les sections passant par une normale, il y en a une ou bien trois dont la déviation est nulle, que le nombre des sections normales à parabole osculatrice est 6, 4, 2 ou 0, partageant la surface en régions ou aires distinctes, caractérisées par cette propriété que toutes les sections normales faisant partie d'une même aire sont de même genre, soit elliptiques, soit hyperboliques, tandis que les sections appartenant à deux aires contiguës sont de genres différents, sauf, bien entendu, les points singuliers pour lesquels certaines de ces aires s'annulent, parce que l'équation qui les détermine a des racines égales.

Une conique peut avoir six points consécutifs communs avec une courbe plane. Transon la nomme alors surosculatrice. Il établit que, dans l'ensemble des sections formées sur une surface par les plans passant par un de ses points et contenant une même droite, oblique ou normale, mais non tangente, il y en a neuf qui admettent des coniques surosculatrices, étant expliqué qu'une seule de ces neuf sections subsiste nécessairement, les autres pouvant être imaginaires par couples, que, dans l'ensemble des sections planes menées par une même tangente, il y en a trois jouissant de cette propriété, dont l'une au moins réelle.

Mémoire sur les propriétés d'un ensemble de droites menées de tous les points de l'espace suivant une loi continue (*Journal de l'École polytechnique*, 1861). — Les angles des droites dont il s'agit avec trois axes fixes doivent être regardés comme des fonctions des coordonnées des points par lesquels elles sont menées.

Quelles que soient ces fonctions, on peut prendre pour lieu des points d'origine une surface telle (appelée par l'auteur résolvante), puis porter sur les droites des longueurs déterminées par une telle fonction des coordonnées que les extrémités de ces longueurs se trouvent sur une surface (appelée directrice) qui leur soit normale. Le nombre des solutions est même illimité, et, entre autres, il est clair qu'à une même résolvante correspond un ensemble de surfaces directrices parallèles. Les plans tangents en un point aux diverses résolvantes passant par ce point contiennent toutes une même droite, perpendiculaire à la droite correspondante du système, et l'auteur montre que cette propriété est l'interprétation géométrique de la condition d'intégrabilité des équations différentielles totales. Il complète aussi un théorème de Malus sur les conditions nécessaires pour que la droite relative à un point soi rencontrée par les droites relatives à des points contigus.

Ce mémoire, entièrement basé sur l'analyse, a été l'objet d'un rapport élogieux de M. Chasles à l'Académie des sciences.

De la projection gauche (*Nouvelles Annales de mathématiques*, 1865 et 1866). — Transon nomme ainsi le tracé qu'on obtient en projetant les différents points d'une figure sur un plan, nommé tableau, par des droites assujéties à rencontrer deux droites fixes, et considère spécialement le cas où les figures primitives appartiennent à un plan.

La projection de toute droite est une conique, passant par trois points fixes, et réciproquement toute conique satisfaisant à cette dernière condition répond à une droite. Cela fournit un moyen de transformer tout théorème relatif à des droites en un autre relatif à des coniques. Généralement la projection gauche d'une figure de l'ordre n est de l'ordre $2n$, et possède trois points multiples de l'ordre n, imaginaires ou réels, coïncidant avec les trois points communs aux susdites coniques.

Si on fait tourner le plan du tableau autour de son intersection avec celui de la figure primitive, les positions des directrices variant en même temps de telle sorte qu'elles continuent à traverser l'un et l'autre plan aux mêmes points, la projection n'est pas modifiée. La rotation peut aller jusqu'au rabattement du plan du

tableau sur celui de la figure, et la transformation gauche est ainsi ramenée à une transformation plane, dont les résultats sont identiques et dont l'épure se trace très-facilement par des lignes droites.

Études sur les roulettes (1845, *Nouvelles Annales*, tome IV, sous le nom d'un abonné, et *Journal de M. Liouville*). — Par des considérations immédiates de géométrie infinitésimale, fondées sur l'assimilation des courbes à des lignes brisées, Transon démontre très-simplement que, si un arc roule d'abord sur la convexité, puis sur la concavité d'un arc fixe, les mêmes points de la courbe mobile étant successivement en contact avec les mêmes points de la fixe, la somme ou la différence des deux arcs décrits par un point du plan lié à la mobile est indépendante de la nature de la ligne fixe. Même indépendance en ce qui concerne la somme ou la différence des aires des quadrilatères mixtilignes limités par les arcs de la courbe fixe et de la roulette, et par les deux droites joignant les premières et dernières extrémités de ces arcs. Dans ces énoncés, il faut regarder la somme, si les rayons de courbure de l'arc mobile sont plus petits que les rayons de courbure correspondants de l'arc fixe, et au cas contraire la différence.

Si donc on connaît la longueur et l'aire de la double roulette engendrée par une courbe roulant sur une courbe donnée, on connaîtra les longueurs et les aires de toutes les doubles roulettes de la même mobile. En particulier, si la ligne fixe est une droite, la longueur et l'aire de la roulette simple en sont les moitiés; si la courbe fixe est identique à la mobile, les contacts se faisant aux points semblables, l'arc de la roulette est double de ce qu'il est quand le roulement a lieu sur une droite.

Lorsqu'aux points correspondants les rayons de courbure de la fixe et de la mobile sont dans un rapport constant, ce qui arrive pour les épicycoïdes, les arcs des roulettes extérieure et intérieure sont entre eux comme la somme de ces rayons de courbure est à leur différence.

Un point d'une circonférence qui roule à l'intérieur d'une circonférence de rayon double décrit, comme on sait, un diamètre de cette dernière. De cette propriété et des théorèmes et lemmes précédents, Transon déduit les expressions de l'arc et de l'aire de toute épicycloïde.

Un point quelconque lié à cette même circonférence décrivant une ellipse, il en résulte encore que les arcs de toutes les autres épicycloïdes allongées ou raccourcies (c'est-à-dire engendrées de

même par un point n'appartenant pas à la circonférence mobile, mais entraîné avec elle) se peuvent ramener à des arcs d'ellipse, propriété que Pascal et Nicolle avaient aperçue d'une autre manière.

Chaque foyer d'une section conique qui roule sur elle-même traçant un arc circulaire, il s'ensuit que les rectifications et les quadratures des roulettes décrites par un foyer d'une conique dépendent de la rectification et de la quadrature du cercle.

L'assimilation ci-dessus indiquée des deux arcs à deux lignes brisées permet aussi d'établir immédiatement une expression des plus simples de la distance qui sépare du point de contact le centre de courbure de la roulette. De là se déduit une construction facile du rayon de courbure de l'ellipse, qu'on peut regarder comme une roulette, ainsi qu'il est dit plus haut, construction déjà donnée par Transon dans une note précédente, d'après d'autres considérations. De là encore une méthode générale, souvent applicable avec succès, pour obtenir le rayon de courbure d'une ligne plane engendrée par un mouvement quelconque; car ce mouvement peut toujours être représenté par le roulement d'une certaine courbe sur une autre supposée fixe, et comme il suffit d'envisager à la fois une petite portion d'arc, on peut même lui substituer une quelconque des roulettes, en nombre infini, qui ont deux éléments communs avec elle, prendre par exemple pour ligne fixe momentanée une droite et pour mobile une circonférence.

Note sur les polygones sémi-réguliers inscrits à l'ellipse (*Nouvelles Annales*, 1863). — Transon appelle ainsi la projection d'un polygone régulier inscrit à un cercle. Il montre que, si on forme pour les divers sommets les puissances $\frac{2}{3}$ des rayons de courbure de l'ellipse qui est la projection du cercle, la moyenne arithmétique de ces quantités est indépendante de la position particulière du polygone, ainsi que du nombre de ses côtés.

Note sur les principes de la mécanique (*Journal de M. Liouville*, tome X, 1845). — Dans les problèmes de cinématique et de mécanique, on considère les première et seconde dérivées des espaces parcourus, estimés en fonction du temps, dont on a fait les entités auxquelles on a donné les noms de vitesse et de force accélératrice : celle-ci est génératrice de la vitesse, comme la vitesse est génératice de l'espace parcouru. On aurait pu aller plus loin, créer une entité exprimée par la dérivée troisième, et ainsi de suite. Transon, se bornant au mouvement d'un point libre,

étudie les propriétés de cette dérivée troisième, qu'il appelle virtualité.

Comme les vitesses et les forces, les virtualités estimées suivant diverses directions se composent et se décomposent par la règle du parallélogramme. La virtualité et la force accélératrice, dans le mouvement rectiligne comme dans le curviligne, sont liées exactement par les mêmes relations que la force accélératrice et la vitesse.

Les trois principales composantes de la virtualité, c'est-à-dire celles qui sont tangente à la trajectoire, normale dans le plan osculateur et perpendiculaire à ce plan, s'expriment par des fonctions simples de la vitesse, des trois composantes principales de la force et des éléments de la courbure.

De l'algèbre directive et de ses applications à la géométrie (*Nouvelles Annales*, 1868, 1869, 1873). — Dès que les mathématiciens ont substitué dans leurs recherches des notations générales et abstraites aux grandeurs concrètes et aux opérations de l'arithmétique, les formules que leur ont données les calculs effectués sur ces symboles se sont trouvées plus compréhensives et plus vastes que les problèmes posés. L'interprétation si naturelle et si simple des quantités négatives s'est présentée de suite à tous les esprits, quoique, il y a trente ans, une doctrine bien peu philosophique prévalût à cet égard dans les écoles, où la plupart des maîtres disaient aux débutants que la règle des signes était une convention purement arbitraire. Quant aux expressions imaginaires auxquelles conduisent les équations algébriques, la seule signification qu'on leur ait attribuée pendant longtemps était de marquer une incompatibilité absolue entre la solution cherchée et les données premières : en elles-mêmes on les qualifiait d'absurdités et de non sens.

Cependant d'illustres analystes se sont fait un instrument de ces prétendus non-sens, et leur appliquant les règles du calcul ordinaire, en ont déduit des démonstrations et des théorèmes nouveaux, preuve bien évidente que des réalités étaient contenues sous leur voile; car on ne peut concevoir que l'absurde mène toujours et sûrement au vrai.

Au commencement du siècle, quelques savants, dont la célébrité est d'ailleurs restée modeste, ont montré que, dans les problèmes de géométrie plane, on interprète d'une manière très-satisfaisante le symbole $\sqrt{-1}$, en le regardant comme caractéristique de la perpendicularité, c'est-à-dire comme indiquant que

la grandeur qui en est affectée doit être portée dans un sens perpendiculaire à celui que l'esprit avait envisagé d'abord. Lorsqu'ensuite ils remplacèrent l'expression binôme $a + b\sqrt{-1}$ par l'expression monôme A_ω, ou seulement A, dans laquelle A représente la longueur de la ligne dont a et b sont les deux projections rectangulaires et ω (exprimé ou sous-entendu) l'angle que cette ligne fait avec une droite fixe, leur doctrine fut solidement constituée. Les quantités, dites directives, qu'ils avaient ainsi créées, plus complètes que celles de l'arithmétique et de l'algèbre ordinaire, s'additionnent entre elles, comme on sait, selon la règle du parallélogramme ou de la composition des vitesses et des forces. Quant à la multiplication, elle donne une quantité dont la grandeur absolue est le produit brut des facteurs au sens arithmétique et dont l'angle directif est la somme des angles partiels, et, à l'inverse, l'angle d'un quotient directif est celui que font entre elles les lignes figurant le dividende et le diviseur.

Transon mit beaucoup d'ardeur à introduire dans l'enseignement ce nouveau symbolisme, qui étend si heureusement la signification du nombre (*), et le moyen qu'il employa fut surtout d'en prouver la fécondité par l'exemple de sa propre investigation.

Il s'en est heureusement servi pour élucider la théorie des équations algébriques. Un polynome $f(z)$ contenant une variable peut, comme celle-ci, représenter une longueur. Si l'extrémité de la variable se meut, celle de $f(z)$ décrit aussi une certaine ligne et passe par l'origine lorsque la valeur donnée à z est l'une des racines de $f(z) = 0$. L'esprit suit sans effort ces routes concomitantes, et les raisonnements basés sur cette méthode s'appliquent aux racines imaginaires comme aux réelles, et encore au cas où les coefficients sont eux-mêmes des nombres directifs. Transon établit ainsi le théorème fondamental que toute équation a des racines, et ceux qui sont connus sous les noms de principe des substitutions et de principe de Rolle, dont l'acception devient plus générale; puis il démontre très-simplement un théorème de Cauchy sur le nombre des points racines contenus dans un contour fermé.

Une équation entre deux variables directes $f(x, y) = 0$ représente non plus un lieu déterminé, comme dans la géométrie car-

(*) Il n'exprime cependant pas dans toute sa généralité la grandeur géométrique, puisqu'il ne s'applique qu'à des longueurs contenues dans un plan. Hamilton a créé postérieurement par ses quaternions un symbolisme plus complet, qui procède non plus d'une simple interprétation, mais encore d'une conception *à priori*.

tésienne, mais une transformation de figure; car si l'extrémité de x suit une courbe quelconque, l'extrémité de y trace une courbe correspondante. L'équation du premier degré $y = ax + b$ désigne la transformation par similitude, et quand le coefficient a est sans inclinaison, les deux figures sont en outre homothétiques. L'extrémité de la ligne $\frac{b}{1-a}$ est dans tous les cas le centre de similitude, et cette expression conduit immédiatement au théorème connu que les trois centres correspondants à trois systèmes semblables et homothétiques, que l'on considère successivement deux à deux, sont sur une même droite.

Dans toute transformation qui résulte d'une équation à deux variables directives, les régions infiniment petites situées dans l'un et l'autre système autour d'un point transformé et du point transformant sont semblables; car, dans ces limites de variation, l'équation se peut remplacer par sa dérivée première et réduire ainsi au premier degré.

Transon établit encore ces théorèmes généraux d'un grand intérêt : 1° que toutes les droites passant par un même point ont pour transformées des courbes dont le centres de courbure, relatifs au point correspondant, sont sur une même droite, 2° que, si plusieurs courbes passant en un même point y ont le même rayon de courbure, les rayons de courbure correspondants de leurs transformées sont les vecteurs d'une même conique.

Étudiant les transformations du second degré dans quelques-unes de leurs espèces, il en déduit de remarquables corrélations, et entre autres il généralise certaines des lois qui régissent les rapports anharmoniques, en considérant ces rapports non plus entre quatre points d'une droite, mais entre quatre points quelconques d'un plan, et par suite comme comportant non-seulement des grandeurs linéaires, mais encore des angles.

L'accroissement différentiel d'une longueur directive est précisément l'élément d'arc que trace son extrémité, et une égalité de rapport entre deux éléments linéaires suppose qu'ils font entre eux le même angle. Par suite, le calcul directif est très-propre à résoudre les problèmes qui concernent les angles sous lesquels les courbes transformantes et transformées coupent des lignes déterminées ou se coupent entre elles : l'auteur le montre par plusieurs applications.

On peut aisément représenter par une équation directive une courbe dont l'équation en coordonnées cartésiennes, $y = \varphi(x)$, est connue; il suffit de prendre pour variables d'une part l'abs-

cisse elle-même, d'autre part le rayon vecteur z, qui sont liés par la relation $z = x + \varphi(x)\sqrt{-1}$. Cette traduction est avantageuse pour résoudre certains problèmes. Ainsi Transon a trouvé que, si en chaque point d'une conique, et sur une direction constamment inclinée du même angle sur la normale, on porte une longueur proportionnelle à la moyenne géométrique des deux rayons focaux, l'extrémité de cette longueur décrit une nouvelle conique, concentrique à la première et de même genre qu'elle.

De la transformation isologique et de la transformation isogonale des courbes planes (*Nouvelles Annales*, 1869). — Deux équations réelles $X = \varphi(x, y)$ et $Y = \psi(x, y)$, liant entre elles les coordonnées cartésiennes de deux systèmes de figures planes, produisent une transformation, qui d'ordinaire ne rentre pas dans la classe de celles qu'engendrent les équations entre deux variables directives.

Elle comporte cette propriété générale que, si des figures en nombre quelconque passent par un point du premier système, leurs tangentes en ce point et les tangentes correspondantes de leurs transformées forment des faisceaux homographiques. Pour que deux courbes quelconques du second système se rencontrent sous le même angle que les courbes correspondantes du premier, ce qui entraîne la similitude des régions infiniment petites, il faut qu'on ait en outre les relations $\frac{d\varphi}{dy} \pm \frac{d\psi}{dx} = 0$, et $\frac{d\psi}{dy} \mp \frac{d\varphi}{dx} = 0$.

De quelques effets d'optique relatifs à la perspective (*Revue générale de l'architecture et des travaux publics*, 1849; *Nouvelles Annales*, 1871). — Lorsqu'un artiste trace sur un tableau des objets qu'il a devant les yeux ou qu'il crée par l'imagination, son dessin n'est exact que pour le point de vue spécial où il s'est placé. Comment se fait-il cependant que le même tableau puisse être regardé avec plaisir dans des positions très-écartées de ce point? Transon en donne l'explication suivante.

A un dessin perspectif, vu d'un lieu donné, correspondent abstraitement une infinité de reliefs différents; mais, grâce aux connaissances acquises, aux habitudes de notre jugement et de notre organisme, parmi cette infinité de solutions mathématiques, l'œil n'en voit jamais qu'une. Ainsi des lignes droites concourant en un point sur un tableau paraîtront toujours parallèles au spectateur.

En outre, si une ligne droite a été représentée pour une situation particulière de l'œil comme divisée dans un certain rapport rationnel, l'apparence de ce rapport, qui reste dans la possibilité de la perspective, sera conservée. Ainsi des rangées de colonne également espacées seront toujours aperçues telles : il adviendra seulement que les distances d'espacement comparées aux hauteurs verticales varieront. Les angles subissent, il est vrai, des altérations très-marquées, mais l'œil est bien moins sensible à l'égalité des angles qu'à la rectitude ou au parallélisme des lignes.

Nous passerons sous silence beaucoup d'autres études de Transon, qui s'appliquent à des sujets de portée moins générale, ou que nous ne pourrions clairement désigner sans l'emploi de formules, et pour terminer cette récapitulation, nous nous bornons à mentionner un travail sur les fonctions symétriques, simplifiant les calculs de l'élimination (*Nouvelles Annales*, 1850), qui a été cité par plusieurs auteurs et traduit en allemand.

Dans un grand nombre d'articles, publiés en divers recueils (entre autres *Encyclopédie nouvelle*, *Nouvelles Annales*), il s'est étendu sur la philosophie des mathématiques, repoussant avec vigueur l'invasion de la doctrine expérimentale et sensualiste, qui domine légitimement en d'autres sciences, et cherchant à faire voir que leurs axiomes et leurs conceptions abstraites tirent origine de notre seule raison et non du spectacle du monde extérieur ou du fonctionnement de nos organes. Il fut très-absolu dans cette thèse, qui nous paraît contenir un grand fonds de vérité, mais qu'il exagérait selon nous. Ainsi il aimait à soutenir que les principes non-seulement de la géométrie, mais de la mécanique même, y compris la loi de l'inertie, ne doivent rien à l'expérience et se sont imposés à notre esprit spontanément.

Loin de se borner à une branche de connaissances, son désir d'apprendre et de savoir était vif en toutes choses et

lui avait fait acquérir une grande érudition. Pendant quelques années il cultiva la géologie, et on lui doit une intéressante et fort bonne description des roches et des formations de l'île de Jersey, qui a paru, accompagnée d'une dans les *Annales des mines* (tome XX, 1851).

ason fut nommé en 1841 répétiteur d'analyse à l'École chnique.

squ'une École d'administration fut créée en 1848, le re de l'instruction publique le désigna, avec Jean-es Ampère, pour examiner les candidats de la région rd-Est. On sait que cette institution, qui était destinée traire la direction des intérêts départementaux à la minence exclusive de la politique, n'eut qu'une durée ière.

1858, il reçut les fonctions d'examinateur d'admis-our l'École polytechnique. Il s'en acquittait avec la tence la plus incontestée et avec la conscience la plus ıleuse, redoutant les négligences involontaires, les d'impatience trop marqués qui auraient dérouté les gens, et surtout les pièges que pouvaient lui tendre ination des professeurs et les réponses apprises d'a-. Chacune de ses tournées était précédée d'une sé- et longue préparation. Une crise douloureuse, qui le au milieu de ses examens en 1873 et qui avait pour une maladie de cœur déjà ancienne, le força à prendre raite.

croix d'officier de la Légion d'honneur lui avait été e au commencement de 1872.

l moins que lui ne fut préoccupé de se faire valoir. pour la vérité et la science, mais modeste dans l'es- qu'il avait de lui-même, il aimait à se tenir à l'écart avoir divulgué ce qui lui semblait utile dans les ré-s de ses travaux, et avait en haine les sollicitations et émarches personnelles. Nombre de fois pourtant on l'a

vu s'employer avec chaleur pour que le mérite d'autrui obtînt sa récompense.

Transon avait contracté un mariage où il avait trouvé toutes les satisfactions que peuvent donner la plus profonde affection mutuelle, l'élévation d'esprit, la communauté des croyances religieuses et de la charité. La paternité lui fut refusée, seul regret que les deux époux aient éprouvé dans cette union.

La générosité de ses sentiments et de ses actes, l'extrême bonté qui pénétrait son âme, les moyens ingénieux et touchants dont il se servait pour la manifester, et d'autre part l'originalité de ses idées et de ses aperçus, la distinction de ses jugements sur les œuvres d'art et de littérature rendaient son commerce plein d'attraits.

Sa maladie fut aggravée par les privations du siége de Paris, plus encore peut-être par la douleur que lui causèrent l'amoindrissement de la patrie et la guerre de la Commune. Cet état de souffrance, l'isolement du monde militant auquel il était par suite condamné, l'impression des catastrophes récentes avaient accru une disposition à la tristesse qui remontait au naufrage de ses illusions humanitaires, et donné à ses opinions et à ses prévisions sur l'avenir un tour qui contrastait avec les tendances de sa jeunesse. Sa capacité et son énergie au travail se soutinrent d'ailleurs jusqu'à ses derniers moments, et la pensée d'abandonner certaines recherches fut un des tourments de sa longue et lucide agonie.

ÉTUDE COMPARÉE DES RÉGULATEURS

DE VITESSE, DE PRESSION, DE TEMPÉRATURE

ET DES RÉGULATEURS DE TOUTES SORTES

Par M. Georges MARIÉ, ancien élève de l'École polytechnique, ngénieur adjoint au contrôle des travaux extérieurs du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

INTRODUCTION.

Quand on examine dans tous ses détails la machine à vapeur de Watt, on est surpris de voir que ce savant physicien l'avait amenée, à peu de chose près, au degré de perfection que nous lui connaissons aujourd'hui.

Nous n'étudierons, dans ce mémoire, que la question des régulateurs. Nous montrerons que l'appareil de Watt, se composant d'un pendule conique agissant sur une valve, constitue un excellent régulateur de vitesse auquel il convient encore aujourd'hui de donner la préférence, dans la majorité des cas.

On a fait deux objections au régulateur de Watt. D'abord on a reproché à la valve de causer un étranglement de la vapeur et une augmentation notable de la dépense du charbon; aussi a-t-on cherché à faire agir le régulateur sur la détente. Mais comme nous le verrons, ce système présente d'assez grandes difficultés. On a montré dans ces dernières années que les régulateurs de détente n'ont en général que fort peu d'avantage, sur les régulateurs à valve, au point de vue de l'économie de combustible; il en résulte que ce dernier système est celui qu'il faut encore préférer, le plus souvent, à cause de sa simplicité. Cependant, nous

étudierons simultanément les régulateurs à valve et les régulateurs de détente.

D'autre part, on a objecté que dans le pendule de Watt, l'angle d'écart des bielles est une fonction de la vitesse; comme la position de la valve est liée à celle de ces bielles, il en résulte que le travail moteur est une fonction de la vitesse; par suite la vitesse de régime est variable suivant la valeur du travail résistant.

On a alors imaginé des régulateurs qui sont en équilibre pour une vitesse donnée, et cela quelle que soit la position des bielles et de la valve. Ces appareils se désignent sous le nom de *régulateurs isochrones.* On espérait obtenir avec ces appareils une vitesse constante pour la machine, quelles que soient les variations du travail résistant. Mais on n'a pas tardé à reconnaître que ces appareils soumettent la valve à des oscillations perpétuelles entre ses positions d'ouverture et de fermeture, et donnent lieu à des variations sensibles de la vitesse de régime. Le même phénomène se produit dans les régulateurs isochrones agissant sur la détente.

On a songé à remédier à cet inconvénient en reliant le manchon du régulateur à un frein à huile; mais, comme nous le verrons, cet artifice ôte au régulateur une partie de ces qualités.

Ces oscillations tiennent au défaut d'harmonie entre la valve, le régulateur et le volant. Ces trois organes sont tellement liés entre eux, qu'une étude du régulateur, considéré isolément, ne saurait conduire à de bons résultats. Nous verrons qu'un régulateur *isochrone* ne peut aller qu'avec un volant *infini* pour la machine; de sorte qu'avec les volants dont on dispose on est forcé d'employer des régulateurs *qui ne sont pas isochrones.*

Il est donc nécessaire que la vitesse de régime soit une fonction de la valeur du travail résistant; seulement, *si le volant est assez puissant*, on pourra restreindre beaucoup

ariations de la vitesse. On pourra, par exemple, faire orte que la vitesse de régime d'une machine soit tou- s comprise entre 50 et 51 tours, quelles que soient les ations du travail résistant entre sa valeur maxima ro. Ce résultat peut être obtenu assez facilement avec endule de Watt ; aussi convient-il parfaitement pour er la marche des machines à vapeur. Dans certaines litions, il est un peu volumineux et peut être remplacé avantage par d'autres appareils plus récents, mais le cipe reste toujours le même.

ous étudierons le système de Watt sous le nom *de régu- r de vitesse à maximum et à minimum*. Nous décri- aussi d'autres genres de régulateurs.

question est d'une nature toute différente quand il t de régler la vitesse de certains appareils de physique 'astronomie. Dans ces conditions, les régulateurs iso- nes, munis d'ailettes conviennent très-bien ; c'est dans t que Foucault a imaginé l'appareil qui porte son nom. dehors des régulateurs de vitesse, la physique et l'in- rie ont souvent besoin de régulateurs de pression, de , de température, etc. Les régulateurs de pression ont pplications intéressantes pour les moteurs à air com- é, pour les distributions du gaz d'éclairage, etc. Les lateurs de température ont des applications dans les rses industries chimiques et pourraient être utilisés en llurgie.

exposition universelle de 1878 nous a montré quelques mens de ces appareils ; ils ne sont pas encore arrivés nême degré de perfection que les régulateurs de vi- . Nous montrerons qu'il est facile de les construire les meilleures conditions en suivant une méthode ana- e à celle des régulateurs de vitesse. Les meilleurs sont qui sont établis par un procédé semblable à celui du lateur de vitesse de Watt.

ous ferons fréquemment usage, dans ce mémoire, de

calculs approchés. Outre la simplification qu'ils entraînent, ils permettent d'aborder des questions qui seraient trop difficile sans cela. L'approximation sera, dans chaque cas, bien suffisante pour la pratique.

Nous avons représenté les appareils au moyen de simples croquis théoriques. Nous donnerons les moyens de calculer toutes leurs dimensions, en tant que régulateurs, mais sans nous préoccuper de la résistance des pièces. Il sera facile d'en déduire une forme pratique, en appliquant les régles ordinaires de la construction.

Il a été fait de nombreux travaux sur les régulateurs de vitesse, nous aurons soin de les signaler au lecteur chaque fois que l'occasion s'en présentera; toutefois les auteurs se sont tous livrés jusqu'à présent à la recherche des régulateurs *isochrones* sans se préoccuper, le plus souvent, des inconvénients qu'ils entraînent dans leur application aux machines vapeur. Aussi avons nous cru nécessaire de reprendre, à un nouveau point de vue, l'étude des régulateurs de vitesses les plus importants.

Remarque. — A moins d'une indication contraire, nous prendrons toujours pour unité le mètre, le kilogramme et la seconde.

PREMIERE PARTIE.

RÉGULATEURS DE VITESSE.

Régulateurs isochrones de destruction.

---

§ 1. — Foucault a imaginé un moyen très-ingénieux ur rendre constante la vitesse de rotation de certains ap-eils de physique ou d'astronomie. Ces petites machines nt, en général, que des résistances très-faibles à vaincre; moteur se compose le plus souvent d'un poids qu'on sse retomber d'une certaine hauteur. Comme les résis-nces dues aux frottements sont variables, la chute du ds serait très-irrégulière si on ne prenait aucune pré-ition. Le *régulateur à ailettes* est un appareil qui crée r lui-même la résistance nécessaire, à chaque instant, ur maintenir l'uniformité de la vitesse de descente du ids; c'est pour cela qu'on l'appelle *régulateur de des-iction*; nous allons en donner la description sommaire.

Soit AB (*fig.* 1, Pl. XI) un axe vertical tournant sur lui-me; son mouvement de rotation est lié à celui de la ma-ne dont on veut régler la vitesse. ED et ED′ sont deux es articulées en E et portant une boule à leur extrémité. ux tiges AC et AC′ égales à la moitié de ED peuvent pi-ter autour d'un axe A perpendiculaire à l'axe AB et fixé sur ; elles sont en outre attachées au milieu de ED et ED′ au yen des articulations C et C′. Un système de ressorts relie points C et C′. Quand on fait circuler le manchon E sur , les boules décrivent une ligne droite DD′ qui est per-ndiculaire à l'axe AB du régulateur.

Tout l'appareil est entraîné par l'axe vertical lui-même, avec une vitesse angulaire proportionnelle à celle de la machine.

Soit m la masse de chaque boule supposée concentrée aux points D et D'. Admettons en outre que la masse des tiges et des ressorts soit négligeable par rapport à celle des boules. Soit ω la vitesse angulaire de rotation du système et x la distance de chacune des boules à A. Supposons que la tension du ressort soit proportionnelle à sa longueur $CC' = x$, ce qui revient à admettre que la tension serait nulle si C et C' se confondaient. Cette condition ne serait pas réalisée par un simple ressort à boudin reliant C à C'; je la suppose néanmoins remplie; on peut y arriver en pratique par diverses combinaisons de ressorts.

Soit t cette tension $= Kx$; on a:

$$Kx = m\omega^2 \times 2x, \quad \text{d'où} \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{2m}}.$$

Ainsi il n'y a *qu'une seule vitesse* qui donne l'équilibre, soit ω_1 cette vitesse. Si $\omega = \omega_1$, l'appareil est en équilibre pour toutes les positions des boules. Si ω dépasse ω_1, les boules s'écarteront jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par un obstacle, par exemple, jusqu'à ce que le manchon E vienne toucher l'articulation A. Si ω tombe au-dessous de ω_1, les boules se rapprochent jusqu'au contact. Ces diverses conditions caractérisent un *régulateur isochrone*. Nous verrons au contraire que, dans la pendule de Watt, il y a une position d'équilibre des boules pour chaque valeur de la vitesse, de sorte qu'il n'est pas isochrone.

Entourons à présent chacune des boules d'un disque de masse négligeable, par rapport à celle de la boule; ces disques ou ailettes vont créer, par leur rotation dans l'air, un couple résistant dont le moment croît très-rapidement avec la distance x des boules à l'axe. Supposons que la vitesse de l'appareil soit égale à la vitesse d'équilibre ω_1; s'il

survient une diminution dans le travail résistant ou une augmentation dans le travail moteur, la vitesse ω augmente un peu, et, immédiatement les boules s'écartent jusqu'à ce que le couple résistant, créé par les ailettes, fasse la compensation; le mouvement d'écart ne s'arrêtera que quand ω sera redevenu égal à ω_1. S'il y avait une augmentation du travail résistant, ou une diminution du travail moteur, les boules se rapprocheraient jusqu'à ce que la vitesse ω_1 fût rétablie.

§ 2.— Il nous reste quelques remarques à faire sur cet appareil : 1° L'effort moteur de la machine doit toujours être un peu plus grand que les frottements des diverses pièces de l'appareil, sans quoi les boules seraient exposées à se rapprocher jusqu'au contact et la vitesse pourrait devenir plus petite que ω_1.

2° Il faut que les ailettes, quand elles sont aussi éloignées que le permet l'appareil, puissent absorber à *elles seules*, autant de travail par seconde qu'il peut y avoir de différence, au maximum, entre le travail moteur de la machine et le travail résistant par seconde.

Cette condition est essentielle; si elle n'était pas remplie, les ailettes se placeraient à leur maximum d'écartement et la vitesse dépasserait ω_1.

3° Nous venons de chercher les conditions d'équilibre sans nous préoccuper de l'influence de l'inertie radiale du système. Lorsqu'il y a une variation dans le travail moteur ou résistant, les boules se déplacent sur la ligne DD'; en vertu de leur vitesse acquise elles peuvent dépasser un peu leur nouvelle position d'équilibre, mais elles y arrivent après quelques oscillations.

Le régulateur que nous venons de décrire est rigoureusement isochrone; mais l'hypothèse que nous avons faite sur le système de ressorts CC' est difficile à réaliser en pratique. Les régulateurs de Foucault et de MM. Rankine,

Yvon-Villarceau, Rolland, etc., sont presque rigoureusement isochrones (*).

Ces régulateurs peuvent être appliqués à des instruments de physique ou d'astronomie, dans les conditions que nous venons d'exposer, mais ils ne sauraient être employés avec avantage pour régler la marche des machines à vapeur. Soit en effet une machine de 100 chevaux; je suppose que le travail résistant, soit de 100 chevaux au maximum, et puisse tomber à 40 chevaux; il faudrait munir le régulateur d'ailettes pouvant absorber 60 chevaux; ce serait difficile à réaliser d'abord, et donnerait lieu à une grande perte de combustible.

Quelques constructeurs ont eu l'idée de commander les valves des machines à vapeur par des régulateurs isochrones sans ailettes, mais ils n'ont pas tardé à reconnaître que la marche de l'atelier était bien loin d'être régulière avec ces appareils. Cet insuccès s'explique facilement, comme nous le verrons plus loin; la valve est soumise, dans ce cas, à des oscillations rapides et perpétuelles qui sont très-défavorables à l'allure et à la conservation de la machine. On a songé à arrêter ces oscillations en reliant le manchon du régulateur à un piston percé d'un trou et se mouvant dans un cylindre rempli d'huile. Nous étudierons cet appareil sous le titre *régulateurs munis de freins à huile*. Il peut rendre des services dans certains cas, mais il est inférieur, dans la plupart des ateliers, à celui de Watt. Nous montrerons que, pour bien régler la marche d'un atelier, il faut employer un régulateur *qui n'est pas isochrone*.

(*) Voir, pour plus de détails : 1° les travaux de M. Yvon-Villarceau, dans les comptes rendus de la Société des ingénieurs civils; 2° le mémoire de M. Rolland, membre de l'Institut, sur l'établissement des régulateurs isochrones de vitesse (*Journal de l'École polytechnique*, XLIII° cahier). 3° Voir aussi *the Steam Engine*, *by professor Rankine*. London, 1876.

Régularisation de la marche d'une machine à vapeur au moyen d'un étranglement constant.

§ 3. — Les régulateurs étant, comme nous le verrons, des organes assez délicats, il y a un certain intérêt à s'en dispenser toutes les fois qu'il n'est pas nécessaire d'avoir une vitesse parfaitement régulière. C'est le cas des machines d'épuisement, d'élévation, etc., employées dans les chantiers de construction ; la seule condition désirable, c'est que la machine ne puisse pas atteindre une valeur *dangereuse* en cas d'une diminution considérable du travail résistant.

Les régulateurs qu'on dispose sur les locomobiles destinés à ces usages sont souvent des instruments tout à fait illusoires, qu'on ferait beaucoup mieux de supprimer. Le plus souvent les valves ne ferment que très-incomplétement, de telle sorte que la machine peut encore s'emporter quoique la valve soit fermée autant que possible. Cela peut tenir à deux causes : ou bien la valve a des fuites qui prennent une grande importance à cause des dimensions exagérées qu'on lui donne habituellement ; ou bien la valve est arrêtée, avant sa fermeture, par un moyen quelconque, ce qui détruit complétement l'efficacité du régulateur. Cependant, même avec les régulateurs les plus imparfaits, on s'étonne de voir ces machines marcher à peu près régulièrement, malgré les variations souvent assez grandes du travail résistant, et sans le concours du mécanicien.

Nous allons montrer comment s'explique ce résultat. Supposons que le robinet de prise de vapeur soit en partie fermé, de façon à créer une perte de charge entre la chaudière et les cylindres. Laissons le robinet dans cette position, *sans y jamais toucher ;* l'étranglement qu'il produit constitue par lui-même un régulateur de vitesse pour la machine ; en effet : soit AB (*fig.* 2), la région du tuyau où

se trouve l'étranglement et CD la section contractée correspondante. Je désigne par p la pression absolue de la vapeur, par V le volume de l'unité de poids de cette vapeur. Les indices 1, 2 et 3 nous serviront à désigner l'état de la vapeur dans la chaudière, dans la section contractée et dans le tuyau d'admission, avant son entrée dans les cylindres.

Je suppose que le volume de la vapeur comprise entre l'étranglement et les cylindres de la machine, soit suffisant pour qu'on puisse négliger les variations de la pression p_3 due à l'irrégularité de la dépense de vapeur pendant une révolution de la machine. La vitesse W_2 de la vapeur en 2 est donnée par la formule

$$W_2 = \sqrt{2g \times p_1 V_1 \times \mathcal{L}\frac{p_1}{p_2}} = C\sqrt{\mathcal{L}\frac{p_1}{p_2}},$$

(C désignant une constante connue), formule de l'écoulement d'un gaz à température constante. Cette formule n'est qu'approchée; nous n'employons pas les formules rigoureuses de la théorie mécanique de la chaleur, car elles sont très-compliquées; il s'agit de donner seulement une idée de la question.

Si nous supposons que la force vive de la vapeur soit négligeable en 3, on pourra admettre que $p_2 = p_3$; donc:

$$W_2 = C\sqrt{\mathcal{L}\frac{p_1}{p_3}}.$$

Cette pression p_3 de la vapeur dans le tuyau d'admission correspond à une valeur déterminée du travail résistant, et à une certaine vitesse de la machine, de n tours à la minute, par exemple.

Si le travail résistant vient à changer, la pression à l'admission prend une autre valeur p'_3 et la vitesse de la ma-

chine prend une nouvelle valeur de n' tours; la vitesse de la vapeur au passage du robinet devient $W'_2 = C\sqrt{\mathcal{L}\frac{p_1}{p'_2}}$; la constante est la même que précédemment.

Le volume de vapeur admis, par coup de piston, est constant, puisque nous ne changeons pas le degré d'admission; le volume de vapeur admis par minute est donc proportionnel à n et n'. De plus, la densité de la vapeur en 2, à la section contractée, est égale à la densité de la vapeur à l'admission. Cela n'est pas rigoureusement exact, car la force vive de la vapeur, après l'étranglement, est transformée en chaleur, ce qui la sèche ou la surchauffe un peu, mais nous pouvons négliger ici cette cause légère d'erreur.

Il en résulte que les vitesses W_2 et W'_2 de la vapeur dans l'étranglement sont proportionnelles à n et à n'; ainsi

$$\frac{n}{n'} = \frac{W_2}{W'_2} = \sqrt{\frac{\mathcal{L}\frac{p_1}{p_2}}{\mathcal{L}\frac{p_1}{p'_2}}} \text{ d'où } \frac{n}{\sqrt{\mathcal{L}\frac{p_1}{p_2}}} = \frac{n'}{\sqrt{\mathcal{L}\frac{p_1}{p'}}} = C'.$$

(C' désignant une nouvelle constante.)

Soit π la pression atmosphérique ou la pression au condenseur, si la machine en est munie; on peut admettre que le travail moteur est à peu près proportionnel à $p_2 - \pi$; il est égal au travail résistant quand la machine a un mouvement uniforme. Ainsi soit Tr le travail résistant et Tm le travail moteur par révolution. Je suppose que ce travail résistant soit indépendant de la vitesse:

on a donc $$p_2 - \pi = K \times Tm,$$
d'où $$p_2 = KTm + \pi \text{ et } p'_2 = KT'm + \pi.$$

D'où, en substituant dans l'équation précédente,

$$\frac{n}{\sqrt{\log.\frac{p_1}{KTm+\pi}}} = \frac{n'}{\sqrt{\log.\frac{p_1}{KT'm+\pi}}} = C'', \text{ et } K = \frac{p_2 - \pi}{Tm}.$$

Mais $Tm = Tr$ et $T'_m = T'_r$ en supposant le mouvement uniforme dans les deux cas; cette formule permet de calculer la vitesse de régime qui s'établira d'elle-même pour chaque valeur du travail résistant. Elle est loin d'être rigoureuse; mais elle suffit pour montrer l'utilité de la perte de charge. Fixons les idées par un exemple numérique.

Soit une machine sans condensation marchant à 67 tours avec son travail résistant maximum T: je suppose que la pression dans la chaudière soit de 6 atmosphères et la pression à l'admission de 4 atmosphères seulement, par suite d'un étranglement. Si le travail résistant tombe à $\frac{2}{3}$ T, la formule précédente montre que la vitesse deviendra seulement égale à 87 tours. S'il tombe à $\frac{T}{3}$ la vitesse devient égale à 110 tours seulement.

Dans une machine sans régulateur et sans étranglement, si le travail résistant tombait aux $\frac{2}{3}$T, la machine s'emporterait tout à fait et causerait un accident, à moins que le travail résistant de l'atelier n'augmentât avec la vitesse. Cette augmentation de travail résistant se présente presque toujours dans la pratique, surtout dans les machines d'épuisement; il est évident qu'elle tend à régulariser encore la marche de la machine.

Bien certainement un étranglement ne constitue pas un régulateur parfait, mais il suffit, dans bien des cas, surtout si les variations du travail résistant sont faibles.

Il faut remarquer que si le robinet est en partie fermée, le régulateur ne joue plus un bien grand rôle. Cela explique comment certains ateliers ont une marche assez régulière même avec les régulateurs les plus imparfaits.

Le seul inconvénient de ce système, c'est qu'il nécessite une machine plus puissante qu'il ne faudrait sans cela; en outre de la dépense de premier établissement, c'est une cause d'augmentation de la dépense de combustible, de sorte qu'il ne faut pas abuser de ce procédé.

Nous avons supposé dans ces calculs que le volume du u de vapeur compris entre l'étranglement et les cylin- était assez grand pour que la vapeur s'y maintînt à pression à peu près constante pendant une révolution volant. Cette condition n'est pas toujours remplie. On verait dans ce cas des résultats analogues; de plus, anglement viendrait en aide *au volant* pour régulariser tesse pendant l'intervalle d'une révolution.

Régulateurs à maximum et minimum.

MÉTHODE GÉNÉRALE POUR L'ÉTABLISSEMENT DU VOLANT ET DU RÉGULATEUR.

4. — Nous allons étudier avec quelques détails les ılateurs de vitesse des machines à vapeur, agissant sur valve ou sur la détente.

e que nous en dirons peut d'ailleurs s'appliquer aux hines à air, à gaz et aux moteurs hydrauliques.

onsidérons une machine conduisant un atelier; soit ω itesse angulaire du volant, à un instant donné. Nous s proposons de munir la machine d'un volant et d'un ılateur tels que la vitesse ω ne puisse *jamais* sortir de x limites données ω_1 et ω_2, et cela quelles que soient variations du travail résistant entre son maximum *et* : ce dernier cas se présenterait si la courroie princi- de l'atelier venait à tomber. Les résistances passives a machine ne sont pas comptées dans le travail résis- ; elles viennent en déduction du travail moteur. Le souvent on ne se montre pas, en pratique aussi exi- nt. On pose par exemple les conditions suivantes : la sse restera comprise entre deux limites données ω_1 et tant que le travail résistant ne descendra pas au-des- s de la moitié de son maximum; de plus la vitesse teindra pas une valeur *dangereuse* si le travail résistant

devient nul. Cependant, nous avons préféré traiter la question dans toute sa généralité, et nous supposerons que le travail résistant puisse varier entre son maximum et zéro.

Nous allons voir qu'on peut toujours obtenir ce résultat, et cela quelque rapprochées que soient les limites ω_1 et ω_2, qu'on fixe à la vitesse angulaire. Soit Ω la moyenne $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ des vitesses extrêmes. Le rapport $\frac{\omega_2 - \omega_1}{\Omega}$, est ce que j'appellerai, à défaut d'une autre expression, *l'écart relatif de vitesse du régulateur* ou plus simplement *l'écart du régulateur*. On se donne la valeur de l'écart, suivant la régularité qui est nécessaire pour l'atelier; elle doit être comprise, en général, entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{20}$; mais rien ne s'oppose à ce qu'on lui donne une valeur plus petite encore.

Supposons que, pendant une révolution du volant, le travail moteur soit égal au travail résistant; à chaque tour ω repasse par la même vitesse. Mais dans l'intervalle d'une révolution, ω passe par un minimum ω' et un maximum ω''. Nous supposerons d'abord que le volant soit assez puissant pour que $\omega'' - \omega'$ soit négligeable par rapport à $\omega_2 - \omega_1$; nous reviendrons plus loin sur cette hypothèse.

Soit AB (*fig.* 3), un organe de réglage de la force motrice; ce sera une valve, une vanne ou un organe de distribution variable. Je suppose d'abord que cet organe puisse supprimer *complétement* la force motrice, quand il est dans une de ses positions A_2B_2; qu'il puisse faire croître la force motrice d'une manière continue quand il passe de sa position A_2B_2 à sa position A_1B_1. De plus il faut que, quand l'organe est dans sa position A_1B_1, le travail moteur par tour du volant, soit au moins égal au *maximum* du travail résistant par tour de volant; autrement la machine se ralentirait forcément si le travail résistant atteignait sa valeur maxima.

Supposons que le mouvement de cet organe soit lié *in-*

variablement à un manchon M pouvant se mouvoir verticalement, et dont les deux positions extrêmes M_1 et M_2, correspondent à l'ouverture et à la fermeture de l'organe de réglage; si le travail emmagasiné en aval de la valve, et dans les cylindres est trop faible pour pouvoir créer une augmentation sensible de la vitesse du volant, on voit que le *travail moteur par tour de volant est, à chaque instant, une fonction continue de la position du manchon* M. Cette condition n'est pas rigoureusement remplie dans les machines à vapeur, et on verra les inconvénients qui en résultent.

Imaginons un appareil qui ait la propriété de changer de forme d'une manière continue, quand la vitesse du volant varie : relions d'une manière invariable le manchon M aux variations de forme de cet appareil. Cela revient à supposer que la position de M sur la ligne M_1M_2 est une fonction continue de la vitesse du volant; admettons en outre qu'elle varie constamment dans le même sens. Soit M_1 la position correspondant à la vitesse angulaire ω_1 fixée comme minimum. Soit M_2 la position correspondant à la vitesse angulaire ω_2 fixée comme maximum. *Le travail moteur à chaque instant est donc une fonction continue de la vitesse du volant.* Les résistances passives dues à la valve ou à l'appareil déformable, sont supposées assez petites pour ne pas changer sensiblement la loi des déplacements du manchon en fonction de la vitesse du volant.

Nous allons voir que, si toutes les conditions précédentes sont remplies, la vitesse angulaire ω du volant ne sortira pas des limites ω_1 et ω_2. En effet, si, pour une cause quelconque, la vitesse atteint la valeur ω_2, la force motrice est supprimée complétement; la machine ne peut donc que ralentir : donc la vitesse ω ne dépassera jamais ω_2. Si la vitesse descend jusqu'à ω_1, la valve est toute grande ouverte; or, nous avons supposé que, pour cette position de la valve, le travail moteur, par tour du volant, est au moins égal au maximum du travail résistant : donc,

ω ne pourra pas descendre au-dessous de ω_1. Toutes les conditions posées sont donc remplies : ω sera toujours comprise entre ω_1 et ω_2, quelles que soient les variations du travail résistant entre son maximum et zéro.

Mais, en général, les variations du travail résistant ne sont pas aussi considérables, de sorte que la vitesse se maintiendra, en pratique, entre des limites beaucoup plus rapprochées que ω_1 et ω_2. C'est à cause de cela qu'un écart de $\frac{1}{20}$, qui peut, au premier abord, sembler insuffisant, donne en pratique une régularité presque parfaite; un écart de $\frac{1}{10}$ est suffisant pour bien des ateliers : c'est celui qui a été adopté pour les machines Corliss.

Nous avons supposé que l'organe d'obturation peut supprimer complétement la force motrice. C'est indispensable si l'on veut que la machine ne dépasse pas la vitesse ω_2 en cas de chute de la courroie principale. Mais il est assez difficile de construire des valves pouvant fermer hermétiquement le passage de la vapeur; nous allons voir qu'on peut le plus souvent se contenter d'une fermeture incomplète de la valve; voici dans quelles limites : soit σ la section libre laissée par la valve quand on la ferme autant qu'on peut, c'est-à-dire pour la portion M_2 du manchon, soit Tm le travail moteur par tour de volant correspondant à la section σ laissée à la vapeur pour la vitesse de régime, soit Tr la plus petite valeur que puisse avoir le travail résistant par tour de volant. Il faut que la section σ soit assez petite pour que Tm soit inférieur à Tr; sans cela, ω pourrait dépasser ω_2. Mais il est préférable d'avoir des valves qui ferment aussi bien que possible; les constructeurs ont toujours une tendance à éluder cette condition, à cause de la difficulté qu'il y a de construire des valves bien ajustées, bien équilibrées et en même temps très-douces à mouvoir. Il est bon que la surface σ des fuites de la valve n'ait pas plus de 3 ou 4 millim. carrés par force de cheval de la machine.

Pour obtenir facilement une fermeture suffisante, il faut

réduire autant que possible les dimensions de la valve et du tuyau où elle est placée. Il faut cependant que, quand la valve est ouverte en grand, la perte de charge de la vapeur, à son passage, soit négligeable par rapport au travail utile de cette vapeur elle-même. Ce résultat est obtenu en calculant la section s laissée libre autour de la valve, de telle façon que la vapeur n'y dépasse pas une vitesse de 50 à 100 mètres par seconde. Il est bon de monter la valve de telle façon qu'elle fasse un angle de 60° environ avec l'axe du tuyau quand elle est fermée et de 30° environ quand elle est ouverte.

Soit S la section du tuyau : on a donc $S = s + S\frac{\cos 60^\circ}{\cos 30^\circ}$: d'où on tire $S = 2,4 \times s$, ce qui donne une vitesse de 21 à 42 mètres pour la vapeur dans le tuyau de la valve ; ce chiffre fixe un minimum aux dimensions de la valve. On calcule les dimensions des lumières d'admission d'après des règles analogues ; on peut donc se dispenser de tout calcul en donnant à la section libre maxima s une surface égale à celle d'une lumière d'admission du cylindre ou des cylindres de la machine. Nous rencontrerons plus loin une raison d'une grande importance qui conduit aussi à donner à la valve les plus petites dimensions possibles.

§ 5. — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que le volant était assez puissant pour remplir les deux conditions suivantes :

1° Le travail emmagasiné dans la vapeur qui existe dans les cylindres de la machine et dans le tuyau d'admission, à partir de la valve, est insuffisant pour créer une augmentation sensible de la vitesse du volant ;

2° L'écart de la vitesse $\omega'' - \omega'$, dans l'intervalle d'une révolution, est négligeable par rapport à $\omega_2 - \omega_1$.

Ces conditions exigeraient un volant très-puissant. Nous allons montrer comment il faut calculer le volant, dans la pratique, pour avoir des résultats satisfaisants.

Supposons le régime établi de telle façon que le travail moteur par tour de volant soit égal au travail résistant; la vitesse ω repasse par la même valeur à chaque révolution. Je suppose, en outre, que le travail résistant ait sa valeur maxima. Le travail moteur varie en fonction de la position du volant suivant une certaine loi; le travail résistant suivant une autre; je suppose que tous deux puissent être considérés comme indépendants de la vitesse dans les limites considérées. Je représente par deux courbes la valeur du moment des efforts moteurs et celle du moment de l'effort résistant pour chaque position du volant. Les abscisses représentent les chemins parcourus par un point situé sur une circonférence de rayon égal *à l'unité*; il en résulte que les ordonnées représentent non-seulement *les moments* des efforts moteurs et résistants, mais la *valeur même* de ces efforts comptés en chaque point tangentiellement à la circonférence de rayon 1.

Soit ABC (*fig.* 4) la courbe des moments des efforts résistants en kilogrammes. Soit DEF la courbe des moments des efforts moteurs en kilogrammes. Ces courbes sont périodiques; la période est 2π; elle peut d'ailleurs être plus faible. Par suite de l'égalité du travail moteur et du travail résistant, la somme des surfaces ombrées MN + PQ est égale à la somme des surfaces ombrées NP + QR. Soient S, s, S', s', ces surfaces; soient ω_m, ω_n, ω_p, ω_q, ω_r, les vitesses angulaires du volant dans les positions correspondant aux points M, N, P, Q, R. Soit I le moment d'inertie du volant. Je ne tiens pas compte de la force vive des transmissions et des diverses pièces en mouvement dans l'atelier. Si elle avait une valeur importante, il serait facile de l'englober dans le moment d'inertie du volant, au moins pour toutes les pièces animées d'un mouvement circulaire uniforme.

On a $\frac{I}{2}(\omega_n^2 - \omega_m^2) = S$, formule qui permet de calculer ω_n en fonction de I et de ω_m. On calculera de même ω_p,

ω_q et ω_r en fonction de 1 et de ω_m. Mais nous ne connaissons pas ω_m : supposons-la égale à la vitesse de régime Ω de la machine, ce qui est très-près de la vérité, on connaît lonc ω_n, ω_p, ω_q et ω_r.

)it ω' la plus petite de ces valeurs et ω'' la plus grande ; $-\omega'$ est l'écart maximum de vitesse dont nous avons parlé. Nous appellerons ***écart relatif de vitesse du vo-***, ou simplement ***écart du volant***, le rapport $\frac{\omega''-\omega'}{\Omega}$. Il lonc facile de calculer le moment d'inertie que doit r le volant pour une valeur donnée de $\frac{\omega''-\omega'}{\Omega}$.

ous avons cru utile de rappeler la méthode ordinaire alcul des volants, afin de bien montrer ce que nous ndons par l'expression ***écart relatif de vitesse du volant.*** ous avons supposé que $\omega''-\omega'$ était très-petit par)ort à $\omega_2-\omega_1$. Cette condition est très-importante ; cela, la valve oscillerait de quantités considérables dant l'intervalle d'une révolution, ce qui nuirait beau-) à la marche de la machine. En pratique, on obtient)ons résultats si $\omega''-\omega'$ est deux à quatre fois plus t que $\omega_2-\omega_1$; il serait préférable de le rendre plus t encore ; mais cela entraînerait à des dimensions trop es pour le volant.

insi, le volant doit être d'autant plus fort que l'écart régulateur est plus petit. A la limite, si $\frac{\omega_2-\omega_1}{\Omega}=0$, égulateur devient isochrone. Le volant devrait alors infini ; sans cela, le manchon oscillerait perpétuellet entre ses positions extrêmes, et l'allure de la machine ait très-défectueuse. On comprend déjà pourquoi l'appeil de Foucault et les autres régulateurs isochrones ne viennent pas pour régler la marche d'une machine à eur. On verra plus loin qu'il y a d'autres causes d'osations qui obligent à donner au volant une masse d'au-

tant plus grande que l'écart du régulateur est plus petit.

Dans la théorie des régulateurs, nous n'avons fait qu'une seule hypothèse, sur le travail résistant : c'est que son maximum doit être inférieur au maximum du travail moteur; mais dans le calcul du volant, nous avons supposé que le travail moteur et le travail résistant étaient indépendants de la vitesse entre les limites ω' et ω''. On peut presque toujours faire cette hypothèse; sinon on calculerait le volant par une méthode d'approximation. Ainsi les machines comme les pompes dont le travail résistant augmente rapidement avec la vitesse, peuvent être réglées tout aussi bien que les machines qui conduisent un atelier d'ajustage. Nous verrons que c'est pour d'autres raisons qu'on évite de munir ces machines de régulateurs et de volants puissants.

§ 6. — Nous avons appelé ω la vitesse angulaire du volant, à un instant donné. Si elle reste constante pendant une minute, soit n le nombre de tours à la minute, on a

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 0{,}107 \times n.$$

Nous compterons souvent, par la suite, la vitesse du volant en nombre de tours à la minute. Seulement il est bien entendu que nous continuerons à parler de vitesses *absolues*, et nullement de vitesses moyennes pendant une minute. Nous appellerons donc $\frac{n_2 - n_1}{N}$ l'écart du régulateur et $\frac{n'' - n'}{N}$ l'écart du volant; $\left(N = \frac{n_1 + n_2}{2}\right)$.

La vitesse n du régulateur est proportionnelle à la vitesse du volant que je désignerai par m; soient m_1, m_2, m', m'', M les valeurs correspondant à n_1, n_2, n', n'', N; l'écart du régulateur est encore égal à $\frac{m_2 - m_1}{M}$ et celui du volant à $\frac{m'' - m'}{M}$. C'est une façon de parler, un peu impropre, mais plus familière aux constructeurs.

Nous allons à présent appliquer ces principes généraux à l'étude des divers régulateurs connus.

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RÉGULATEURS A FORCE CENTRIFUGE.

§ 7. **Régulateur de Watt.** — Le régulateur de Watt se compose de deux tiges AC, AC′ (*fig.* 5) portant des boules à leur extrémité et mobiles autour d'un point fixe A situé sur un arbre vertical dont le mouvement est relié à celui du volant de la machine : deux bielles BM, B′M, égales à AB et AB′ entraînent le mouvement d'un manchon M, plus ou moins lourd. Le manchon est mis en relation avec un organe de réglage disposé comme l'indique notre méthode générale.

Soient $AB = AB' = BM = B'M = a$ et $AC = AC' = b$.

Soient P le poids de chaque boule et Q le poids du manchon.

Lorsque le poids Q acquiert une grande importance on fait généralement $a = b$ et l'appareil prend le nom de régulateur de Porter (*fig.* 6) : nous étudierons simultanément les deux systèmes.

Soient α l'angle d'écart MAC correspondant à une vitesse angulaire ω de l'appareil.

Cherchons quelle est la position d'équilibre des boules pour chaque valeur de ω. Nous appliquerons l'équation $\Sigma X dx + \Sigma Y dy = 0$, du travail virtuel pour les déplacements compatibles avec les liaisons du système. Je prends pour axe des y le prolongement de l'axe MA et pour axe des x une perpendiculaire en A et cet axe, dans le plan de la figure. Nous négligerons dans ce calcul la masse des leviers, l'erreur que cela introduit n'a pas d'importance en pratique. Nous négligerons aussi, pour le moment, les frottements de l'organe d'obturation et des diverses pièces du régulateur; nous tiendrons compte ensuite de leur influence.

Je considère seulement la moitié du système :

En C on a $\begin{cases} X = \text{force centrifuge} = \dfrac{P}{g}\omega^2 b \sin\alpha; & dx = b\cos\alpha d\alpha, \\ Y = \text{poids de la boule} = -P; & dy = b\sin\alpha d\alpha, \end{cases}$

En D on a $\begin{cases} X = 0; & dx = 0, \\ Y = -\dfrac{Q}{2}; & dy = 2a\sin\alpha d\alpha. \end{cases}$

l'équation d'équilibre est donc :

$$\frac{P}{g}\omega^2 b\sin\alpha \times b\cos\alpha d\alpha - Pb\sin\alpha d\alpha - \frac{Q}{2}\times 2a\sin\alpha d\alpha = 0,$$

d'où $$b\cos\alpha = g\left[1 + \frac{Q}{P}\times\frac{a}{b}\right]\times\frac{1}{\omega^2}.$$

Soit n le nombre de tours, par minute, du régulateur correspondant à la vitesse angulaire (voir § 6).

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \text{ d'où } \frac{g}{\omega^2} = \frac{g\times\overline{30}^2}{\pi^2}\times\frac{1}{n^2} = \frac{896}{n^2}, \text{ ou environ } \frac{900}{n^2};$$

donc $$b\cos\alpha = \frac{900}{n^2}\left(1 + \frac{Q}{P}\times\frac{a}{b}\right) = h.$$

En appelant h la distance verticale de A à la projection des boules sur l'axe du régulateur.

La distance AM du manchon au point fixe est égale à

$$h\times 2\times\frac{a}{b}; \text{ ou bien } AM = \frac{1800}{n^2}\left[1 + \frac{Q}{P}\times\frac{a}{b}\right]\times\frac{a}{b};$$

je l'appellerai l.

On a donc les positions du manchon en fonction de la vitesse de rotation du régulateur, exprimée en nombre de tours, par minute.

Soient l_1 et l_2 les positions du manchon correspondant aux vitesses limites données n_1 et n_2 : $l_1 - l_2$ représente la course du manchon; elle doit être assez grande pour qu'on

puisse négliger le jeu des articulations du système. On lui donne en général une valeur de $0^m,05$ à $0^m,15$.

Je vais chercher quelles doivent être les dimensions du régulateur et sa vitesse de rotation pour que l'écart $\frac{n_2 - n_1}{N}$ et la course $l_1 - l_2$ du manchon aient des valeurs données.

On a : $l_1 = \frac{1800}{n_1^2}\left(1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b}\right)\frac{a}{b}$, et $l_2 = \frac{1800}{n_2^2}\left(1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b}\right)\frac{a}{b}$,

d'où
$$\frac{l_1 - l_2}{l_1 + l_2} = \frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2 + n_1^2};$$

soit m le nombre de tours du volant; il est proportionnel à n; on a donc :

$$\frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{l_1 - l_2}{2} \times \frac{m_2^2 + m_1^2}{m_2^2 - m_1^2}; \text{ posons } \frac{l_1 + l_2}{2} = \text{L}.$$

On a donc la distance L du sommet A de l'appareil au milieu de la course du manchon, en fonction de la course $l_1 - l_2$ du manchon et des vitesses limites m_1 et m_2 du volant correspondant à l'écart donné. On en déduit les valeurs de l_1 et l_2.

Il est curieux de remarquer que P et Q n'entrent pas dans ces calculs; cela veut dire qu'en ajoutant un contre-poids Q_1 au manchon, on ne modifie en rien l'écart relatif de vitesse correspondant à des positions limites données, l_1 et l_2 du manchon. Une fois que l_1 et l_2 ont été calculés, on peut choisir *arbitrairement* a et b; il faut seulement avoir soin de donner à a une valeur plus grande que $\frac{l_1}{2}$, et assez grande pour que les boules ne touchent pas l'axe du régulateur pour la position inférieure du manchon.

Il nous reste à chercher quel doit être le rapport des vitesses du régulateur et du volant; on a :

$$n_1^2 = \frac{1800}{l_1}\left[1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b}\right] \times \frac{a}{b},$$

qui sert à calculer n_1; le rapport $\frac{n_1}{m_1}$ est le rapport cherché. (Voir l'application numérique du § 37.)

Toutes les parties du régulateur sont donc fixées. Il ne reste qu'à relier le manchon à l'organe de réglage de façon à faire correspondre leurs positions extrêmes.

§ 8. — Nous avons négligé l'influence du frottement de la valve et des articulations du régulateur : ces résistances passives changent la loi de variation des positions du manchon en fonction de la vitesse de la machine.

Soit F, pour chaque position des boules, l'effort vertical, évalué au manchon, qui peut vaincre les résistances passives de la valve et du régulateur tout entier : F peut varier avec la position du manchon. Je suppose seulement que c'est une fonction *continue* de cette seule variable ; en d'autres termes je suppose que quand le manchon se met en marche, il n'ait pas à vaincre une résistance *au départ* beaucoup plus grande que quand il est en mouvement. Ce cas se présente quand la valve est mal équilibrée ; elle est en quelque sorte collée dans sa position de fermeture ; quand le régulateur a réussi à la décoller, il n'éprouve plus qu'une résistance insignifiante et descend subitement jusqu'à la position correspondant à l'ouverture complète de la valve.

Il est facile de trouver la loi de variation de l en fonction de la vitesse n, on a :

$$l = \frac{1800}{n^2}\left[1 + \frac{Q \pm F}{P} \times \frac{a}{b}\right]\frac{a}{b}.$$

Le signe + correspond au mouvement de montée des manchons, et le signe — à sa descente.

Tout ce que nous avons dit subsiste, sauf que la machine peut dépasser un peu les limites n_1 et n_2 que nous avons fixées au régulateur. Soit F_1 la valeur de F quand la valve est ouverte, et F_2 quand elle est fermée : ces deux valeurs peuvent ne pas être égales. La vitesse de la machine sera

maintenue entre deux nouvelles limites N_1 et N_2 données par les formules.

$$N_1 = \sqrt{\frac{1800}{l} \cdot \frac{a}{b} \cdot \left[1 + \frac{Q - F_1}{P} \times \frac{a}{b}\right]},$$

$$N_2 = \sqrt{\frac{1800}{l} \cdot \frac{a}{b}\left[1 + \frac{Q + F_2}{P} \times \frac{a}{b}\right]}.$$

Nous appellerons $\frac{N_2 - N_1}{N}$ l'*écart réel* du régulateur. On pourra toujours donner aux boules ou contre-poids un poids assez grand pour que $\frac{N_2 - N_1}{N}$ diffère aussi peu qu'on voudra de $\frac{n_2 - n_1}{N}$: les formules précédentes permettent de faire ce calcul.

Comme ces calculs de radicaux sont un peu longs à effectuer, nous allons indiquer une méthode approchée qui nous permettra d'arriver beaucoup plus simplement au calcul du poids des boules ou contre-poids. Reprenons la formule générale du régulateur de Watt :

$$h = \frac{900}{n^2}\left[1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b}\right]; \text{ on en tire :}$$

$$Q = P \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{hn^2}{900} - P\,\frac{b}{a}.$$

Représentons par dQ le supplément de poids du manchon F qu'il faut pour vaincre les résistances passives de la valve et de tout le système articulé :

$$\text{On a : } dQ = 2 . P . \frac{b}{a} . \frac{h}{900} . n . dn = 2 . P . \frac{b}{a} \times \frac{hn^2}{900} \times \frac{dn}{n}.$$

$$\text{Or, on a : } \quad \frac{hn^2}{900} = \left[1 + \frac{Q}{P} . \frac{a}{b}\right];$$

$$\text{donc} \quad dQ = 2 . P . \frac{b}{a}\left[1 + \frac{Q}{P} . \frac{a}{b}\right]\frac{dn}{n};$$

$$dQ = F = 2\left[P . \frac{b}{a} + Q\right]\frac{dn}{n},$$

ou bien :
$$\frac{dn}{n} = \frac{F}{2\left[P.\frac{b}{a} + Q\right]}.$$

Cette formule permet de calculer l'accroissement de vitesse *dn* qui correspond à F pour l'équilibre du régulateur. Comme c'est une formule différentielle, elle n'est exacte que pour de très-petites valeurs de $\frac{dn}{n}$; c'est le cas qui se présente en pratique : $\frac{dn}{n}$ est ce que j'appellerai *la perturbation relative de vitesse* due à une résistance F évaluée au manchon.

Désignons, comme tout à l'heure, par F_1 et F_2 les valeurs de ces résistances pour les positions extrêmes du manchon, on aura donc :

$$\frac{N_2 - N_1}{N} = \frac{n_2 - n_1}{N} + \frac{F_1 n_1}{2\left[P.\frac{b}{a} + Q\right]N} + \frac{F_2 n_2}{2\left[P.\frac{b}{a} + Q\right]N},$$

formule qui permet de calculer très-simplement P et Q de manière à rendre ausi faible qu'on voudra l'excès de l'écart réel sur l'excès du régulateur. Le plus souvent F est constant pour toute la course du manchon, et on peut calculer P et Q de manière à rendre la perturbation relative de vitesse ou $\frac{F}{2\left[P\frac{b}{a} + Q\right]}$ égale à une fraction donnée de l'écart $\frac{n_2 - n_1}{n_1}$ du régulateur. Cette fraction est en général $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$. Il serait préférable de la faire plus petite encore.

On peut remarquer que la perturbation relative de vitesse due à une résistance F est indépendante de la vitesse de rotation du régulateur pour une valeur donnée de $\left[P\frac{b}{a} + Q\right]$. En d'autres termes, un régulateur de Watt et

de Porter ayant la même valeur de $\left(P\frac{b}{a} + Q\right)$ ont exactement la même puissance par rapport aux résistances passives. Cependant il est plus commode de mettre un contrepoids puissant sur le manchon que de donner un poids considérable aux boules; aussi préfère-t-on généralement le régulateur de Porter à celui de Watt, quand le manchon doit exercer un effort de plus d'un kilogramme.

On peut faire le calcul de l_1 et l_2 par un procédé graphique; ce procédé est d'ailleurs celui que nous appliquerons pour les régulateurs donnant lieu à des calculs trop compliqués. Etant données les dimensions du régulateur, je construis la courbe représentée par l'équation :

$$l = \frac{1800}{n^2}\left[1 + \frac{Q}{P} \times \frac{a}{b}\right]\frac{a}{b} \quad (fig.\ 7).$$

Puis je choisis sur cette courbe deux points A et B tels que la course $l_1 - l_2$ du manchon soit égale à la valeur donnée et tels que $\frac{n_2 - n_1}{N}$ soit égale à la valeur donnée de l'écart du régulateur.

On voit que les régulateurs de Watt et de Porter permettent d'obtenir des valeurs aussi faibles qu'on veut de l'écart $\frac{n_2 - n_1}{N}$, pour une valeur donnée de la course du manchon. Autrement dit, ces appareils peuvent se rapprocher autant qu'on veut des régulateurs isochrones. Seulement, si l'écart est plus petit que $\frac{1}{18}$, cela entraînerait à des dimensions un peu grandes. C'est pour cela que nous allons étudier d'autres systèmes qui permettent d'obtenir un écart plus faible avec des dimensions plus restreintes, en donnant cependant un course suffisante au manchon.

§ 9. **Régulateur de Farcot.** — Le régulateur de Farcot se compose de deux bielles munies de boules et articulées aux

extrémités d'une tige DD' (*fig.* 8) fixée sur l'axe de l'appareil : ces bielles se croisent sur l'axe vertical. Elles sont reliées au manchon par un moyen quelconque ; mais, le plus souvent, cette liaison se compose de deux bielles croisées identiques à celles de la partie supérieure. Soient :

$$DB = BE = D'B' = B'E' = a, \quad DC = D'C' = b, \quad DD' = EE' = 2c.$$

Soient P le poids des boules, Q le poids du manchon et 2α l'angle des bielles. Nous allons chercher l'équation qui donne la distance l du manchon au sommet du régulateur, en fonction du nombre de tours n, pour qu'il y ait équilibre. En appliquant le principe du travail virtuel, comme pour le régulateur de Watt, on trouve la relation :

$$n^2 = \frac{900 \operatorname{tg} \alpha}{b \sin \alpha - c}\left[1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b}\right].$$

Or, $\cos \alpha = \frac{l}{2a}$; d'où l'on tire $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{4a^2 - l^2}}{2a}$,

en substituant, on trouve :

$$n = 30 \sqrt{\frac{\sqrt{4a^2 - l^2}}{lb\sqrt{1 - \frac{l^2}{4a^2}} - lc}\left[1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b}\right]}.$$

Désignons cette fonction par $f(l)$; soit $K = \frac{n}{m}$ le rapport des vitesses du régulateur et du volant ; soient l_1 et l_2 les positions du manchon correspondant aux valeurs n_1 et n_2 du régulateur : on a les relations $f(l_1) = Km_1$, $f(l_2) = Km_2$, $l_1 - l_2 = A$, quantité donnée, c'est la course du manchon. Ces trois équations permettent de calculer l_1, l_2 et K, pour un régulateur de dimensions données, en fonction des vitesses limites du volant m_1 et m_2. Mais elles sont compliquées et l'on s'expose à rencontrer des solutions imaginaires un peu difficiles à discuter sur l'équation elle-même.

§ 10. — Pour simplifier la recherche de l_1 et l_2, nous allons employer la méthode graphique dont nous avons parlé dans l'étude du régulateur de Watt. Reprenons l'équation

$$n = 30\sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{b\sin\alpha - c}} \times \sqrt{1 + \frac{Q}{P}\cdot\frac{a}{b}} = c^{te}\sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{b\sin\alpha - c}},$$

qui donne la loi de variation de n en fonction de α. Il est utile de remarquer que si $Q = 0$, la manière dont le manchon est relié aux bielles DC, D'C', n'influe en rien sur cette fonction. Construisons cette courbe (*fig.* 9) : le tableau suivant donne les valeurs de n pour α croissant de $-90°$ à $+90°$.

Valeurs de α	$-90°$. . . .	0	arc sin $\frac{c}{b}$	$+90°$
Valeurs de n	$+\infty$. réel.	0 imaginaire	$+\infty$ . . réel.	$+\infty$
	1re région courbe DO.	2e région.	3e région courbe ABC.	

Il y a donc trois régions pour l'angle α : de $-90°$ à 0, cela correspond à des valeurs négatives de α : c'est l'étude du régulateur de Watt à tiges décroisées (*fig.* 10). Je n'insiste pas sur ce système qui ne devrait jamais être employé dans la pratique, car il exige des dimensions plus grandes encore que le régulateur de Watt ordinaire pour la même valeur de l'écart relatif de vitesse. La deuxième région est de 0 à arc Sin $\frac{c}{b}$: elle donne des valeurs imaginaires pour n : enfin de arc Sin $\frac{c}{b}$ à 90° on a la région qui constitue le régulateur Farcot proprement dit ; n doit avoir un minimum dans cette région : on le trouve en prenant la dérivée $\frac{dn}{d\alpha}$; on a, tout calcul fait,

$$\frac{dn}{d\alpha} = \frac{b\sin^3\alpha - c}{\sin\alpha\cos\alpha\,(b\sin\alpha - c)},$$

à un facteur constant près.

On voit que $\frac{dn}{d\alpha}$ est infinie pour $\alpha = 0$, ce qui veut dire que la courbe DO est tangente en O à l'axe des y. Cette dérivée est nulle pour $\sin^3 \alpha = \frac{c}{b}$ ou pour $\alpha = \text{arc} \sqrt[3]{\frac{c}{b}}$, c'est pour cette valeur de α que la fonction est minima; soit B le point correspondant de la courbe. Au point B, le régulateur est *isochrone*; dans le voisinage de ce point, il est sensiblement isochrone.

Il semble qu'on puisse utiliser les deux portions AB et BC; mais si on se servait de AB, il faudrait, contrairement à l'usage, que la position inférieure du manchon correspondît à la fermeture de la valve, et la position supérieure à son ouverture. Cependant nous allons montrer qu'il y a entre les parties AB et BC de la 3e région une différence essentielle. Dans la partie AB, l'équilibre du régulateur est *instable*, c'est-à-dire que, si l'on dérange le manchon quand le régulateur est dans une position d'équilibre, il n'y peut plus revenir. Au contraire, dans la partie BC, l'équilibre est *stable*. Dans la position figurée par le point B, l'équilibre est *indifférent*. En d'autres termes, tout se passe comme une balance où l'équilibre peut être instable, indifférent ou stable, suivant la position du centre de gravité du fléau. Pour le montrer, nous allons employer le raisonnement qui sert dans la théorie de la balance; considérons l'appareil comme un simple indicateur de vitesse, indépendamment de toute espèce de valve.

Supposons que le manchon du régulateur soit en équilibre, autrement dit, que la force centrifuge fasse équilibre à l'action des boules et du poids Q. Si la vitesse augmente, la force centrifuge augmente, et elle écarte les boules. Si cela se passe dans la partie BC de la courbe, elles trouveront une nouvelle position d'équilibre; si c'est dans la partie AB, elles n'en trouvent pas, elles s'écartent jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par un obstacle matériel, et elles

restent dans cette position. Si la vitesse diminue, il se passe la même chose en sens contraire. Ainsi, dans toute la tie BC, l'équilibre est stable; dans la partie AB, il est table; en B il est indifférent. La région BC peut donc le convenir. Les positions extrêmes du manchon de- nt correspondre à deux points pris sur la courbe BC, et isis de telle façon que l'écart $\frac{n_2 - n_1}{N}$ correspondant à points soit égal à l'écart donné, tout en laissant au man- m une course suffisante. La courbe se construit en par- t de dimensions données de a, b, c, et de la valeur de $\frac{Q}{P}$.

Si on n'arrive pas à une solution satisfaisante, on modi- ra un peu les dimensions de l'appareil et on retracera la irbe BC; on arrivera ainsi rapidement au résultat. Les nts limites étant connus sur la courbe BC, on en dé- ra les vitesses limites n_1 et n_2 du régulateur, et par te le rapport des vitesses $\frac{n_1}{m_1} = \frac{n_2}{m_2}$ du régulateur et du ani.

; 11. — Les poids Q et P n'entrent jusqu'ici que par r rapport qu'on peut se donner arbitrairement. Nous al- s fixer leur valeur comme pour le régulateur de Watt, telle façon que la perturbation relative de vitesse due résistances passives soit sensiblement plus petite que art donné du régulateur.

On a trouvé la formule :

$$n^2 = 900 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{b \sin \alpha - c} \left[1 + \frac{Q}{P} \cdot \frac{a}{b} \right],$$

ù on tire :

$$Q = \frac{Pb}{a} \times \frac{b \sin \alpha - c}{900 \operatorname{tg} \alpha} n^2 - P \frac{b}{a};$$

$$dQ = 2 \frac{Pb}{a} \times \frac{b \sin \alpha - c}{900 \operatorname{tg} \alpha} . n dn,$$

ou en multipliant et divisant par n :

$$dQ = 2\frac{Pb}{a}\cdot\frac{b\sin\alpha - c}{900\,\text{tg}\,\alpha}\cdot n^2\frac{dn}{n},$$

ou bien en remplaçant n^2 par sa valeur :

$$dQ = 2\left[\frac{Pb}{a}+Q\right]\cdot\frac{dn}{n} = F; \qquad \frac{dn}{n} = \frac{F}{2\left[\frac{Pb}{a}+Q\right]}.$$

Cette formule donne la perturbation relative de vitesse due à l'effort F qui, appliqué au manchon, représente la valeur des résistances passives de tout le système; nous calculerons $\frac{Pb}{a}+Q$ de telle façon que $\frac{dn}{n}$ soit notablement plus petite que l'écart de vitesse $\frac{n_2-n_1}{N}$. Il faut remarquer que cette formule est exactement la même que celle que nous avons trouvée pour le régulateur de Watt, ce qu'on aurait d'ailleurs pu prévoir.

En général, on ne met pas de contre-poids Q au manchon; il n'y a qu'à faire $Q=0$ pour appliquer les formules. On a pu voir cependant, à l'Exposition, quelques exemples de régulateurs à tiges croisées et à manchon surchargé; cette excellente disposition a été adoptée dans la machine de Galloway, de Manchester, machine qui a obtenu un grand prix. On pourrait en outre faire $a=b$, et on aurait un régulateur rappelant la forme du régulateur de Porter et ayant les propriétés de l'appareil de Farcot.

Nous avons vu que la partie BC de la courbe (*fig.* 9) convient, tandis que la partie AB doit être rejetée. Il faut donc bien se garder de choisir les points H et K correspondant aux positions extrêmes du manchon de part et d'autre du minimum B, car le manchon est dans un équilibre instable pour toute la partie HB de la courbe. De plus, dans le voisinage du point B, le régulateur est isochrone, ce

qui entraîne, comme on le sait, des oscillations perpétuelles du manchon et rend l'allure de la machine très-fectueuse.

Nous croyons devoir insister sur cette remarque, parce .e la méthode suivie ordinairement pour l'étude du ré-.lateur de Farcot conduit précisément à ce choix défec-eux. Voici quelle est cette méthode : on démontre que, les poids se mouvaient sur une parabole, le régulateur rait isochrone, et, pour avoir un tel appareil, on rem-ace la parabole par le cercle osculateur en un point R de tte courbe : puis on fixe les positions extrêmes du man-on de telle sorte que les boules puissent se mouvoir un u *de part et d'autre* du point R. Le point R correspond écisément au point B de la figure 9, et les points ex-èmes choisis H et K sont bien *de part et d'autre* du int B.

Le régulateur Farcot peut, au contraire, donner d'excel-nts résultats, à condition de déterminer ses dimensions sa vitesse de rotation de telle façon *qu'il ne soit pas iso-rone*. Il ne faudra pas lui demander une valeur de l'écar us petite que ne le comporte le volant de la machine.

Le régulateur de Farcot peut donc être stable, indiffé-nt ou instable, comme une balance. Nous n'avons pas arlé de cette condition pour le pendule de Watt, parce i'il est toujours stable. Mais, quand on fera l'étude d'un uveau régulateur, il faudra s'assurer que l'équilibre est *ble* dans la partie utilisée de la fonction.

Pour s'assurer qu'un régulateur à force centrifuge est ble, il faut se représenter la loi de variation de la vi-sse quand l'écartement des boules augmente. Si la vi-sse augmente, le régulateur est stable ; si la vitesse dimi-e, le régulateur est instable : si la vitesse est constante, régulateur est indifférent ou *isochrone*.

§ 12. **Régulateur Andrade.** — On doit à M. Andrade, génieur de la marine, un régulateur à boules qui est

moins encombrant que le régulateur de Watt, à égalité d'écart relatif de vitesse ; il offre en outre cet avantage sur le régulateur de Farcot, qu'on peut modifier assez facilement cet écart sans changer les dimensions de l'appareil.

Cet appareil (*) se compose d'un axe vertical AL (*fig.* 11) dont le mouvement de rotation est lié à celui du volant de la machine à vapeur. Un pendule conique est fixé au sommet A de cette tige. Le manchon n'est pas lié directement au mouvement des tiges AB, AB'. Il est attaché à l'extrémité de deux bielles MD, MD'. Ces bielles sont articulées avec deux bielles CD, CD' qui peuvent tourner autour d'un axe horizontal C fixé sur l'axe vertical. Les articulations D et D' peuvent glisser dans des coulisses ménagées dans les bras AB, AB' du pendule conique, de sorte que le déplacement des boules entraîne celui du manchon. Un levier HF, pouvant pivoter autour d'un point fixe H, saisit le manchon au moyen d'une fourche ; un poids mobile sur ce levier permet d'exercer un effort vertical sur le manchon ; la tige FG communique le mouvement à la valve.

Nous allons, comme pour le régulateur de Watt, chercher la relation entre les déplacements du manchon et la vitesse angulaire correspondante. Soit $AC = CD = CD' = DM = D'M = a$; soit $AB = AB' = b$. Soit, en outre, P le poids d'une boule, et Q l'effort exercé sur le manchon par le contre-poids ; soit α l'angle $MAD = MAD'$; l'angle $MCD = MCD' = 2\alpha$. Prenons pour axe des y le prolongement de l'axe MA, et pour axe des x une perpendiculaire en A à cet axe dans le plan de la figure. — Appliquons l'équation du travail virtuel :

$$\sum X dx + \sum Y dy = 0,$$

(*) La *fig.* 11 n'est qu'un simple croquis théorique. Le lecteur trouvera dans les *Annales des mines* (7[e] série, tome XIII) un dessin du régulateur de M. Andrade, avec une description sommaire de cet appareil, faite par M. Résal. Nous avons cru, néanmoins, devoir nous étendre un peu sur ce sujet à cause de l'intérêt qui s'y rattache.

ce qui donne l'équation :

$$\frac{P}{g}\omega^2 b \sin \alpha b \cos \alpha d\alpha - Pb \sin \alpha d\alpha - 4Qa \sin \alpha \cos \alpha = o,$$

d'où on tire :

$$\frac{\omega^2}{g} = \frac{1}{b \cos \alpha} + \frac{4a}{b^2} \times \frac{Q}{P} = \frac{\pi^2 n^2}{g \times \overline{30}^2} = \frac{n^2}{900},$$

d'où $$n^2 = 900 \left[\frac{1}{b \cos \alpha} + \frac{4a}{b^2} \times \frac{Q}{P}\right].$$

On a en outre $CM = l = 2a \cos 2\alpha$.

Nous savons donc calculer n et l en fonction de α. Il sera donc facile d'obtenir, soit par le calcul, soit par un tracé graphique, les positions du manchon en fonction de la vitesse angulaire ω.

Si on fait $Q = o$ dans la formule précédente, on retombe sur l'équation trouvée pour le régulateur de Watt, comme cela devait être.

Si les positions extrêmes du manchon correspondent à des angles α_1 et α_2, il est facile de montrer que l'écart relatif $\frac{n_2 - n_1}{N}$ du régulateur diminue à mesure qu'on augmente Q, en supposant qu'on garde les mêmes valeurs α_1 et α_2.

En effet $n_2^2 - n_1^2$ est indépendante de la valeur de Q ; ainsi :

$$n_2^2 - n_1^2 = (n_2 + n_1)(n_2 - n_1) = c^{te},$$

d'où $$\frac{n_2 - n_1}{\frac{n_2 + n_1}{2}} = \frac{n_2 - n_1}{N} = \frac{c^{te}}{\frac{(n_2 + n_1)^2}{2}}.$$

Mais le dénominateur augmente rapidement avec Q, le numérateur est indépendant de Q ; donc l'écart diminue rapidement quand Q augmente, c'est-à-dire quand on éloigne le contre-poids de l'axe H ; seulement, il faut, bien entendu, changer le rapport des vitesses du régulateur et du vo-

lant, si on veut maintenir la même vitesse de régime du volant. On verra plus loin, dans l'étude des oscillations des régulateurs, qu'il est très-commode de pouvoir régler l'écart d'un régulateur.

On voit immédiatement que l'appareil d'Andrade est toujours en équilibre stable (voir § 11).

Nous allons à présent chercher quelle sera la perturbation relative de vitesse $\frac{dn}{n}$ apportée par la résistance F de la valve, évaluée au manchon.

Posons $F = dQ$:

On tire de l'équation générale

$$Q = \frac{Pb^2}{4 \times 900 \times a} n^2 - \frac{Pb^2}{4ab \cos \alpha},$$

$$dQ = \frac{Pb^2}{1800\, a} ndn = \frac{Pb^2}{1800\, a} n^2 \frac{dn}{n},$$

$$dn = 1800 \frac{a}{Pb^2} \frac{dQ}{n^2},$$

ou bien en remplaçant n^2 par sa valeur et en posant $dQ = F$,

$$\frac{dn}{n} = \frac{2a}{Pb^2 \left[\frac{1}{b \cos \alpha} + \frac{4a}{b^2} \cdot \frac{Q}{P}\right]} \times F;$$

cette formule donne la perturbation relative de vitesse due à une résistance F appliquée au manchon. On peut remarquer qu'elle diminue quand Q augmente, c'est-à-dire quand on éloigne le contre-poids du manchon ; or, nous avons vu que par cette opération, on diminue en même temps l'écart $\frac{n_2 - n_1}{N}$ du régulateur. On sait, d'autre part, qu'il faut que la valeur de $\frac{dn}{n}$ soit toujours sensiblement plus petite que l'écart du régulateur, c'est-à-dire que la perturbation relative de vitesse doit diminuer si on diminue l'écart ; c'est

précisément ce qui a lieu dans le régulateur d'Andrade. En d'autres termes, on augmente sa *puissance* en même temps qu'on diminue l'écart.

§ 13. **Régulateurs à ressorts.** — Imaginons un régulateur de Watt muni d'un ressort en spirale enroulé tout le long de l'axe, depuis A jusqu'au manchon (*fig.* 12) : soit K la longueur de ce ressort libre : je conserve les mêmes notations que dans le régulateur de Watt. La compression du ressort est proportionnelle à $K - l$: je la représente par $s(K - l)$. J'applique à tout le système le théorème du travail virtuel absolument comme pour les régulateurs de Watt. On trouve

$$l = \frac{1 + \frac{Q}{P} + \frac{sK}{P}}{\frac{n^2}{1800} + \frac{s}{P}},$$

en prenant pour unités, comme d'habitude, le mètre, le kilogramme ; n est le nombre de tours à la minute.

Cette formule me permet de construire la courbe des valeurs de l en fonction de n : je choisirai sur cette courbe, comme d'habitude, les deux points qui correspondent aux positions extrêmes du manchon. En tirant Q de l'équation précédente, je pourrai avoir dQ en fonction de $\frac{dn}{n}$: je construirai le régulateur de manière à avoir une valeur de $\frac{dn}{n}$ plus petite que $\frac{n_2 - n_1}{N}$.

Ces régulateurs exigent des dimensions encore plus grandes que le régulateur de Watt, pour le même écart relatif : de plus les ressorts s'abiment avec le temps : on devrait donc les proscrire de la pratique : leur seul avantage c'est que si les boules sont très-petites, et le ressort puissant, l'inertie radiale du système est presque nulle, ce qui diminue, comme on le verra, les oscillations du régulateur.

On pourrait faire des régulateurs à ressorts ayant un faible écart de vitesse avec de petites dimensions ; on y arriverait par diverses combinaisons de ressorts et de leviers.

§ 14. — Tous les régulateurs à boules que nous venons d'étudier sont assujettis à rester toujours dans la position verticale. Il peut être utile de munir d'un régulateur certaines machines qui sont exposées à osciller dans tous les sens, comme les machines de bateaux. On construit alors ce qu'on appelle des régulateurs équilibrés. La *fig.* 13 montre suffisamment en quoi consiste un régulateur équilibré à ressort. On peut aussi faire des régulateurs équilibrés à tiges croisées, analogues aux régulateurs ordinaires de Farcot (*). Nous ne donnerons pas plus de détails sur ces appareils qu'on pourra étudier comme tous ceux que nous avons décrits. Il suffira, comme nous l'avons fait plusieurs fois, de poser l'équation d'équilibre en appliquant le théorème du travail virtuel, et on en tirera la valeur de la position du manchon en fonction de la vitesse. On invente tous les jours de nouveaux régulateurs à boules, comme le régulateur de Buss, le régulateur Cosinus, le régulateur Pickerink, etc. (**). Ces appareils sont, en général, plus difficiles à calculer et à construire, que ceux que nous avons décrits et ceux dont nous parlerons encore. Comme ils n'ont aucun avantage nouveau, nous n'en parlerons pas davantage. On peut considérer les régulateurs à boules, que nous avons décrits, comme parfaitement satisfaisants.

Nous parlerons plus loin de régulateurs à maximum et minimum basés sur d'autres principes que la force centrifuge ; ce sont les régulateurs à air comprimé (*fig.* 14) et celui d'Allen (*fig.* 15) (§§ 32 et 33).

(*) Voir l'ouvrage de M. Huin, ingénieur de la marine, sur les régulateurs marins. Paris, A. Bertrand.

(**) Voir le mémoire de M. Haton de la Goupillière sur le régulateur Duvoir à anneau (*Annales des mines*, 5e série, tome XVIII, 6e livraison.)

OSCILLATIONS DES RÉGULATEURS A MAXIMUM ET MINIMUM.

ı5. — Lorsqu'on établit sur une machine un régu-
ır à maximum et minimum, sans se préoccuper du
nt, on est souvent fort surpris d'obtenir une allure assez
vaise pour la machine. On constate, par exemple, que
.tesse sort des limites qu'on lui avait fixées ; d'autre
, le régulateur et l'organe du réglage sont soumis à
oscillations perpétuelles qui causent des variations ra-
s de la vitesse angulaire ω du volant. Cette vitesse, il
vrai, ne s'écarte jamais beaucoup de la vitesse de ré-
e, mais ses variations donnent lieu à une accélération
ılaire $\frac{d\omega}{dt}$ souvent assez notable et nuisible à la plupart
ateliers. Dans une filature, par exemple, la rupture des
est due à une valeur exagérée de l'accélération $\frac{d\omega}{dt}$,
rtains moments, plutôt qu'à une légère variation de la
se de régime. En outre, les oscillations de l'organe de
age sont fatigantes pour la machine elle-même ; elles
ent de plus une augmentation de la dépense de com-
ible. Ce défaut tient à ce que toutes les conditions que
nous avons supposées réunies dans l'exposé général
ont pas réalisées pratiquement.

ous allons voir que pour que ces irrégularités ne se
uisent pas, il faut qu'il y ait une certaine harmonie
e l'organe de réglage, le régulateur proprement dit et
lant de la machine.

s oscillations peuvent être attribuées aux trois causes
antes :

ı6. 1re cause des oscillations. — Nous avons supposé que
rt relatif du volant était sensiblement plus petit que
du régulateur ; si cette condition n'est pas remplie, le
chon oscille d'une quantité notable pendant l'intervalle
e révolution du volant. A la limite, pour un régulateur

isochrone, il faudrait un volant infini. On peut, dans une certaine mesure, remédier à cet inconvénient en employant des courroies au lieu d'engrenages pour relier le mouvement du régulateur à celui du volant; alors l'élasticité des courroies permet au régulateur de ne pas suivre toutes les petites variations de vitesse du volant. Mais ce procédé offre moins de sécurité que celui qui consiste à employer les engrenages.

D'autre part, lorsque la machine à vapeur fait un très-grand nombre de tours à la minute, l'inertie ne permet pas au manchon du régulateur de suivre les variations de la vitesse qui se font pendant chaque révolution; on sait, en effet, que la position n'est une fonction rigoureuse de la vitesse qu'à l'état statique. Ces deux considérations démontrent comment les oscillations sont parfois moins grandes qu'on pourrait le croire; cependant il est préférable de rendre ces oscillations négligeables en donnant à l'écart du régulateur une valeur notablement plus grande que l'écart du volant.

§ 17. **2° cause des oscillations.** — Nous avons supposé que la position du manchon est une fonction de la vitesse du volant; cette condition n'est pas rigoureusement remplie dans les divers systèmes de régulateurs que nous avons étudiés. Nous avons, en effet, calculé la position du manchon en fonction de la vitesse supposée constante. Mais quand la vitesse varie, l'inertie radiale du système modifie la loi de variation de la position du manchon en fonction de la vitesse. Voici, par exemple, ce qui peut se passer: supposons d'abord la vitesse constante et le travail moteur égal au travail résistant, par tour de volant. Si le travail résistant vient à diminuer, la vitesse augmente, le manchon monte et la valve commence à se fermer. Quand elle sera dans une position telle que le travail moteur soit devenu égal au travail résistant, elle devrait s'arrêter; mais le régulateur, en vertu de l'inertie de ses pièces, l'entraîne au

de cette position et le travail moteur devient trop petit : anchon redescend alors et tout recommence ; cela donne à des oscillations qui peuvent aller toujours en diminnt, mais qui peuvent aussi quelquefois durer indéfinint.

our remédier à ce défaut il faut rendre aussi faible possible la vitesse du manchon ou l'accélération du ant.

r, toutes choses égales d'ailleurs, la vitesse du man- n est d'autant plus grande, que l'écart du régulateur est s faible, et que le volant de la machine est plus fort. te considération conduit donc, à donner au volant des ensions d'autant plus fortes que l'écart $\frac{n_2 - n_1}{N}$ du réateur est plus faible ; voilà donc une seconde raison qui qu'un régulateur *isochrone* ne peut aller qu'avec un vo- infini. Les frottements de la valve et du régulateur lent à remédier à cette cause d'oscillation ; mais ils sont ours assez puissants pour remplir ce but ; il faut bien garder de les augmenter inutilement, car on sait qu'ils mettent à la vitesse du volant de sortir des limites fixées r § 8) ; d'autre part, on va voir qu'ils sont, souvent par -mêmes, une cause d'oscillations.

18. **3e cause des oscillations.** — Nous avons vu que les tements de tout l'appareil ne font que retarder la marche manchon du régulateur ; nous avons même calculé la turbation de vitesse $\frac{dn}{n}$ causée par les frottements ; cette ur est positive ou négative suivant que le manchon à s'élever ou à s'abaisser. Si les frottements avaient ours la même valeur, ils n'auraient pour effet que de rder un peu le mouvement du manchon, et de laisser la sse de la machine sortir parfois un peu des limites n_1 et qu'on lui a assignées. Mais, on sait qu'il arrive souvent le frottement *au départ* d'un système quelconque est

un peu plus fort que le frottement pendant le mouvement du système. Il en résulte que le manchon, au lieu de se mettre en marche lentement, commencera à se mouvoir par un petit soubresaut. Cet inconvénient se rencontre surtout lorsque la valve n'est pas parfaitement équilibrée; si elle est un peu collée dans sa position de fermeture, elle ne peut s'en détacher que par un violent soubresaut.

On évite facilement cet inconvénient en donnant aux boules et contre-poids du régulateur une masse suffisante pour que la perturbation de vitesse $\frac{dn}{n}$ causée par la *plus grande valeur* F des frottements évalués à la valve, soit notablement plus petite que l'écart $\frac{n_2 - n_1}{N}$ du régulatateur.

Indépendamment de ces trois causes d'oscillations, il pourrait y en avoir d'autres; si par exemple, la valve étant située assez loin des cylindres, son action serait retardée, et la valeur du travail moteur ne serait plus une fonction de la position du manchon.

§ 19. — Les remarques que nous venons de faire sur les diverses causes des oscillations, concernent les régulateurs de détente aussi bien que les régulateurs à valve; cependant les derniers y sont plus sujets : nous allons en expliquer la cause.

Dans un régulateur agissant directement sur la détente, les déplacements du manchon sont, en général, à peu près proportionnels aux variations qu'ils produisent dans le degré d'admission de la vapeur; or la puissance en chevaux de la machine n'est pas loin d'être proportionnelle au degré d'admission; il en résulte que les déplacements du manchon sont à peu près proportionnels aux variations correspondantes du travail moteur. En d'autres termes, si, par suite d'une oscillation, le manchon se trouve déplacé accidentellement à une distance dl de la position l qu'il devrait avoir, la perturbation dT causée dans le travail

moteur est à peu près proportionnelle à *dl*, quelle que soit la position du manchon.

Dans les régulateurs à valve, les choses se passent tout autrement. On peut admettre, que les déplacements du manchon causent des variations proportionnelles de la surface laissée par la valve au passage de la vapeur; on peut vérifier que cette hypothèse est très-près de la vérité lorsque les positions extrêmes de la valve correspondent aux angles de 30° et de 60° avec l'axe du tuyau, que nous avons déjà fixés. Soit *s* la surface laissée libre au passage de la vapeur; ainsi, un déplacement *dl* du manchon cause une variation à peu près proportionnelle *ds*.

Mais, les variations de *s* sont *très-loin* de causer des variations proportionnelles du travail moteur, et c'est là une distinction capitale entre les valves et les organes qui permettent de régler l'admission. En effet : la perte de charge causée par la valve est à peu près proportionnelle à la diminution qu'elle produit dans le travail moteur par coup de piston ; d'autre part, la perte de charge de la vapeur est proportionnelle *au carré* de sa vitesse; elle est très-grande quand la valve est près de sa fermeture, puis elle décroît très-vite ; il est facile de voir qu'elle est négligeable lorsque la section est assez grande pour que la vapeur ne dépasse pas une vitesse de 50 à 100 mètres; si l'on continue à augmenter la section *s*, le travail moteur ne subit plus aucune augmentation.

Une première conclusion à tirer, c'est qu'il suffit de donner, au maximum de cette section, une valeur S, telle que la vapeur n'y dépasse jamais une valeur de 50 à 100 mètres. Mais, on voit de plus que les variations *ds* de la section libre sont bien loin de causer des variations proportionnelles, *d*T, du travail moteur. Pour une même valeur de *ds*, la valeur de *d*T est très-grande si la valve est près de sa position de fermeture, et devient négligeable dès que *s* a atteint la valeur S; mais nous avons vu que *ds* est à peu près proportionnelle

au déplacement correspondant *dl* du manchon. Il en résulte qu'un même déplacement accidentel *dl* du manchon, causé par une oscillation quelconque, déterminera une perturbation *d*T du travail moteur, qui sera très-grande si la valve est dans le voisinage de sa fermeture, et négligeable si la section libre est égale ou supérieure à S.

On voit de suite que, pour un même déplacement du manchon, la valeur de *d*T est d'autant plus faible que l'ouverture maxima S est elle-même plus faible. Il y a donc tout avantage, pour éviter les oscillations, à donner la plus petite valeur à l'ouverture maxima de la valve. On doit lui donner cependant une valeur assez grande pour que la perte de charge causée par l'étranglement soit négligeable lorsque la valve est ouverte; si cette perte de charge était trop grande, on s'exposerait à augmenter la dépense du combustible. C'est absolument le même calcul que celui des lumières d'admission dans les cylindres à vapeur; on se rappellera donc cette règle pratique, que la surface laissée au passage de la vapeur, *lorsque la valve est ouverte*, doit être égale à la surface découverte d'une lumière d'admission du cylindre à vapeur, au moment où le tiroir la découvre le plus.

On pourrait relier le manchon à la valve par un système de leviers combinés de telle façon que $\frac{dl}{ds}$ varie suivant la loi inverse de la variation de $\frac{ds}{dT}$; alors $\frac{dl}{dT}$ serait une constante dans les limites de la course du manchon. La *fig.* 16 (Pl. XII) représente une solution approchée du problème. Le manchon M est relié par une fourchette à un levier coudé MAB qui agit sur une bielle BC; cette bielle actionne un levier CD calé sur la valve. La valve étant ouverte, le système occupe la position $M_1AB_1C_1D$. Si elle est fermée, le système prend la position $M_2AB_2C_2D$. Ainsi, pour un même déplacement du manchon, la valve se déplace beaucoup si elle est presque ouverte, et très-peu si elle est presque fermée. Cette dispo-

rend le régulateur moins sujet aux oscillations que les
s ordinaires, mais elle est d'une construction délicate.
io. — La première cause des oscillations a été étu-
par M. Hirsch (*), ingénieur des ponts et chaussées.
rsch a cherché, en outre, quelle est la série des oscil-
s auxquelles est soumis le régulateur après une varia-
u travail résistant. La deuxième a fait l'objet d'un tra-
e M. Worms de Romilly (**), ingénieur des mines. Ce
des études très-intéressantes; mais il est difficile d'y
compte de toutes les circonstances pratiques.

st cependant indispensable de mettre les régulateurs
bri des oscillations. Nous allons indiquer quelques
empiriques très-simples, qui permettent d'obtenir
sultat, dans la plupart des cas.

pposons d'abord qu'il s'agisse d'un régulateur de dé-
L'examen des machines existantes montre que les
ations ne sont pas à craindre si les deux conditions
ntes sont remplies :

L'écart relatif de vitesse du régulateur doit être égal ou
ieur au double de l'écart relatif de vitesse du volant;

La perturbation relative de vitesse $\frac{dn}{n}$ due aux frotte-
s doit être au plus égale au tiers de l'écart relatif de
e du régulateur.

ur les régulateurs à valve, on doit poser les condi-
suivantes :

La surface maxima laissée par la valve au passage de la
r doit être au plus égale à la surface découverte d'une
re d'admission, au moment de la fermeture de l'ad-
on.

L'écart du régulateur doit être au moins quatre fois
grand que l'écart du volant.

Voir le cours autographié de machines à vapeur de M. Hirsch,
sé à l'École des ponts et chaussées.

Voir *Annales des mines*, 7e série, tome I.

3° La perturbation de vitesse due aux frottements doit être au plus égale au cinquième de l'écart relatif de vitesse du régulateur.

Ces conditions ne sont que des règles pratiques simples qui donnent le plus souvent de bons résultats. Nous donnerons plus loin la description d'appareils qui permettent de régler *à la main* l'écart relatif de vitesse du régulateur et qui permettent d'éviter les oscillations, avec certitude, en graduant à la main cette valeur.

§ 21. — Nous terminerons l'étude des oscillations en faisant remarquer qu'elles ne sont pas à craindre dans les régulateurs de destruction, que nous avons décrit § 1. Même lorsqu'ils sont parfaitement isochrones, ils jouissent néanmoins d'une grande stabilité. Cela tient à ce qu'ils contiennent en eux-mêmes l'organe qui crée le travail résistant; leur action se fait sentir *immédiatement* sur les résistances, contrairement aux régulateurs des machines à vapeur. Il en résulte que le moindre déplacement accidentel du manchon est immédiatement corrigé par la variation considérable qui se produit dans le travail absorbé par les ailettes.

RÈGLES A SUIVRE POUR L'ÉTABLISSEMENT DES RÉGULATEURS A MAXIMUM ET MINIMUM.

§ 22. — Nous allons résumer la méthode à suivre pour l'établissement des régulateurs à maximum et minimum. Nous supposerons d'abord qu'il s'agisse d'un régulateur à valve pour une machine à vapeur, une machine à gaz ou un moteur à air comprimé.

Écart du volant. — On calculera le volant de la machine par la méthode que nous avons indiquée (§ 5), en se donnant l'écart relatif de vitesse suivant les exigences de l'atelier. L'écart du volant ou $\frac{\omega''-\omega'}{\Omega}$ doit être compris :

Entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{30}$ pour les ateliers demandant peu de régularité;

Entre $\frac{1}{30}$ et $\frac{1}{50}$ pour les ateliers d'ajustage, les scieries, etc.;

Entre $\frac{1}{50}$ et $\frac{1}{70}$ pour les imprimeries, les filatures, etc.;

Entre $\frac{1}{70}$ et $\frac{1}{100}$ pour les ateliers de précision.

rt du régulateur. — Pour assurer une stabilité suffisante au manchon du régulateur, on se donnera, pour le régulateur, un écart relatif de vitesse quatre fois plus grand que l'écart du volant.

oix et dimensions du régulateur. — 1° La position du manchon doit varier suivant une fonction continue de la vitesse : il doit y avoir une seule position du manchon pour chaque valeur de la vitesse.

2° Tous les régulateurs à boules peuvent donner d'excellents résultats ; le choix du sytème n'est qu'une question d'élégance. On prendra le régulateur de Watt ou celui de Porter si l'écart est grand ; ceux de Farcot et d'Andrade sont moins encombrants si l'écart est faible.

3° Le système étant choisi, on utilisera une course du manchon de $0^m,05$ à $0^m,15$, suivant la grandeur de la machine et telle que les positions extrêmes du manchon correspondant à des vitesses n_1 et n_2 dont l'écart $\frac{n_2 - n_1}{\left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right)}$ soit égal à l'écart donné.

gane de réglage. — 1° L'ouverture laissée libre par l'organe de réglage, lorsqu'il est ouvert en grand, doit avoir une surface à peu près égale à la surface découverte d'une lumière d'admission du cylindre à vapeur, au moment de la fermeture de l'admission.

2° L'organe de réglage doit être aussi près que possible des cylindres de la machine.

3° Lorsque cet organe est dans sa position de fermeture, les fuites doivent être assez faibles pour que la machine ne dépasse pas sa vitesse de régime, le travail résistant atteignant sa valeur minima.

4° L'organe de réglage peut être à volonté une valve ou mieux un tiroir équilibré. Si c'est une valve, elle doit être équilibrée avec assez de soin pour qu'on puisse la *décoller* de sa position de fermeture sans le moindre effort ; elle doit faire, avec l'axe du tuyau, un angle de 60° environ quand elle est fermée, et de 30° au moins quand elle est ouverte.

Liaison entre le manchon et l'organe de réglage. — On relie le manchon au tiroir ou à la valve par un système de leviers faisant correspondre leurs positions extrêmes. Si l'on emploie une valve, on mettra sur l'axe du régulateur un buttoir destiné à arrêter le manchon en haut de sa course; de cette façon, la valve sera arrêtée quand elle fera un angle de 30° avec l'axe du tuyau. Il ne faut pas limiter la course du manchon par le bas; la valve l'arrêtera forcément en se fermant.

Puissance du régulateur. — On commence par évaluer l'effort vertical qu'il faudrait exercer sur le manchon pour vaincre la résistance de l'organe de réglage dans sa position la plus défavorable; puis on calcule le poids des boules et des contre-poids, de manière à rendre la perturbation de vitesse $\frac{dn}{n}$, due à cet effet, notablement plus petite que l'écart du régulateur; l'écart réel sera égal à l'écart du régulateur $+ 2\frac{dn}{n}$. On fera $\frac{dn}{n}$ environ 5 fois plus petit que l'écart du régulateur.

Si le régulateur devait agir sur la détente, on emploierait la même méthode, sauf qu'on pourrait donner à l'écart du régulateur une valeur 2 fois plus grande que celle du volant, au lieu de 4 fois; la perturbation $\frac{dn}{n}$ pourrait être égale au tiers de l'écart du régulateur.

Pour les moteurs hydrauliques, le problème est plus difficile, parce que les vannes sont plus difficiles à mouvoir que des valves. Il faudrait donner aux boules de très-fortes dimensions pour obtenir la puissance suffisante. Nous donnerons plus loin la description d'un régulateur plus énergique, qui conviendrait mieux dans ce cas.

RÉGULATEURS A ÉCART VARIABLE.

§ 23. — Nous avons vu que les régulateurs sont d'autant plus stables que leur écart relatif de vitesse est plus grand. Comme il est impossible de soumettre au calcul toutes les circonstances qui influent sur les oscillations, nous avons

né une règle qui donne pratiquement de bons résultats. ; il est bien préférable d'établir un régulateur tel qu'on se faire varier à la main l'écart relatif de vitesse jusqu'à , au besoin, sans changer la vitesse de régime. Alors iminuera à la main l'écart de vitesse, autant que pos-, sans donner lieu toutefois à des oscillations. Nous s montrer comment l'addition d'un contre-poids mobile égulateur de Watt ou de Porter permet d'obtenir ce tat.

it un régulateur à boules de Watt ou de Porter (*fig.* 18, § 7). Un levier OM tourne autour de l'axe fixe O et éuni au manchon par une fourche. AB est la tige de ıande de l'organe d'obturation.

t *b* la distance de l'axe O à l'axe vertical du régulateur econd levier OK est soudé perpendiculairement au .er ; il est fileté, et un poids R peut se mouvoir sur e poids introduit un nouveau terme dans l'équation avail virtuel ; on peut calculer la nouvelle équation .libre en fonction de ce poids et des valeurs de *b* et *c*. ntre-poids diminue l'écart du régulateur pour une course du manchon.

t AB la courbe qui représente les déplacements du ıon en fonction de la vitesse (*fig.* 17). Supposons que ıtre-poids soit vertical pour la position l_1 du manchon ıpondant à la vitesse *minima*. Le contre-poids aura effet de remplacer la courbe AB par la courbe AB' ; la e maxima n_2' est plus petite que n_2, de sorte que l'écart $\frac{n}{}{}_{1}$ est plus faible que $\frac{n_2 - n_1}{N}$. En mettant le contre- sur OK' en dessous de l'axe, on augmenterait l'écart ; ırbe AB serait remplacée par la courbe AB".

est bon, avec cette disposition, d'employer un régu- r ayant par lui-même un écart assez considérable ; on ra alors faire varier l'écart dans des limites très- les. On calculera le poids R et la longueur de la

tige OK de manière à pouvoir, au besoin, réduire à zéro la valeur de l'écart quand le poids R sera en haut de sa course[1]; il suffit, pour cela, de chercher quelle est la valeur qu'il faudrait retrancher du poids Q pour que la vitesse correspondant à la position supérieure du manchon fût égale à n_1.

Nous avons trouvé pour le régulateur de Porter l'équation

$$\frac{dn}{n} = \frac{dQ}{2(P+Q)} \text{ (Voir § 8).}$$

donc :

$$dQ = 2(P+Q)\frac{dn}{n}.$$

La variation de poids qu'il faut faire subir au manchon pour que l'écart soit nul est donc égal à $2(P+Q)\frac{n_2 - n_1}{N}$; la formule différentielle peut, en effet, s'appliquer à l'écart de vitesse qui a toujours une valeur faible. Connaissant la diminution du poids dQ que doit fournir le contre-poids R, quand le manchon est en haut de sa course, il est facile d'en déduire le poids R et la longueur du levier OK nécessaire pour obtenir, au besoin, un écart rigoureusement nul. On pourra donc faire varier à la main l'écart relatif de vitesse depuis zéro jusqu'à la valeur de l'écart du régulateur sans contre-poids.

C'est à Foucault qu'on doit l'idée du contre-poids vertical; il avait imaginé cette disposition pour obtenir un régulateur isochrone; dans ces conditions, l'appareil peut servir de régulateur de destruction, mais nous avons vu qu'il serait trop instable pour les machines à vapeur. On peut, au contraire, en faire un excellent appareil à condition de ne pas le rendre *tout à fait isochrone;* la valeur du contre-poids devrait être fixée par tâtonnements. M. Wenger, ingénieur des études au chemin de fer de Lyon, a rendu ce tâtonnement facile en filetant la tige OK; il a, en outre, prolongé le levier MO suivant OH; (*fig.* 18) un deuxième contre-poids mobile S

permet alors de faire varier la vitesse de régime sans modifier l'écart relatif de vitesse. Avec cette légère modification, les régulateurs de Watt et de Porter sont ceux qui conviennent le mieux ***dans tous les cas possibles***.

§ 24. — Il est intéressant de discuter de plus près l'influence du contre-poids vertical. En appliquant le théorème du travail virtuel, on trouve aisément l'équation d'équilibre d'un tel système ; si on en tire la valeur de ω^2, on trouve :

$$\omega^2 = \frac{2g}{P} \times \frac{P + Q - Rbc(l'-l)[b^2 + (l'-l)^2]^{-\frac{3}{2}}}{l},$$

Cherchons dans quelle condition il faut établir le contre-poids vertical pour que le régulateur soit isochrone pour $l = l'$; il faut pour cela chercher quelle valeur il faut donner à R pour que la tangente à la courbe $\omega = f(l)$ soit horizontale ; or on sait que

$$\frac{d\omega^2}{dl} = 2\omega\frac{d\omega}{dl}, \text{ d'où } \frac{d\omega}{dl} = \frac{1}{2\omega} \times \frac{d\omega^2}{dl}.$$

Prenons la dérivée de ω^2 et divisons par 2ω, nous avons la relation :

$$\frac{d\omega}{dl} = \left\{ \begin{aligned} & \frac{g}{P\omega l^2} \Big\{ Rbc[b^2 + (l'-l)^2]^{-\frac{3}{2}} \times l \\ & - Rbc(l'-l) \times \frac{3}{2} \times [b^2 + (l'-l)^2]^{-\frac{5}{2}} \times 2(l'-l) \times l \Big\} \\ & - \frac{g}{P\omega l^2} \Big\{ P + Q - Rbc(l'-l)[b^2 + (l'-l)^2]^{-\frac{3}{2}} \Big\}. \end{aligned} \right.$$

Si on fait $l = l'$ dans cette expression, on trouve

$$\frac{d\omega}{dl} = \frac{g}{P\omega l'^2}\left[Rc \times \frac{l'}{b^2} - P - Q\right],$$

expression qui s'annule si

$$R = (P + Q)\frac{b^2}{l' \times c};$$

on choisit arbitrairement b et c, de sorte que la formule précédente donne la valeur qu'il faut donner à R pour que le régulateur soit isochrone par $l = l'$.

Soient b_1 et c_1 les valeurs de b et c, choisies arbitrairement et soit $R = (P + Q)\frac{b_1^2}{l'c_1}$ la valeur de R qui rend le régulateur isochrone pour $l = l'$.

1° Si on met le contre-poids R à une distance de l'axe $= c_1$, la courbe des valeurs de ω en fonction de l affecte la forme ABC de la *fig.* 19. De plus, on peut voir que la dérivée seconde $\frac{d^2\omega}{dl^2}$ s'annule par $l = l'$, la courbe a donc un point d'inflexion en B.

2° Si on fait descendre le contre-poids R au dessous de cette position, la tangente en B dont le coefficient angulaire est $\frac{d\omega}{dl}$, devient négative; la courbe affecte la forme A'B'C'.

3° Si on fait monter le contre-poids R au-dessus de la distance c_1, la tangente devient positive et la courbe prend la forme A″B″C″.

En reproduisant ici le raisonnement du § 10, on verrait que le régulateur est isochrone ou *indifférent* dans le premier cas, *stable* dans le second, *instable* dans le troisième.

Le deuxième cas est donc seul applicable dans la pratique; on pourra faire varier l'écart relatif de vitesse depuis zéro jusqu'à la valeur de l'écart correspondant au régulateur ordinaire sans contre-poids R.

La méthode de calcul dont nous venons de nous servir pour discuter l'influence du contre-poids vertical, a été employée par M. Dwelshauvers-Déry (*); mais, dans ce mémoire, l'auteur recherche les conditions à remplir pour

(*) Voir la *Revue universelle des mines*, de M. de Cuyper (mai 1872).

're les régulateurs isochrones sans se préoccuper de
ırt relatif de vitesse.

25. — Nous avons montré comment on peut appliquer
ıntre-poids mobile aux régulateurs de Watt et de Porter.
pourrait adopter ce système à un régulateur à boules
système quelconque. Mais il est tout à fait inutile de
ire par la raison que le régulateur de Watt ou celui
orter sont les plus simples au point de vue du calcul et
a construction. Ce système est, sans contredit, le plus
mode de tous les régulateurs à boules; il est tout à fait
ile d'inventer de nouveaux régulateurs dans le cas où
ırt à exercer est très-faible.

ous étudierons plus loin des systèmes de régulateurs
s d'une grande puissance sous un petit volume.

e régulateur de M. Andrade possède aussi cette qualité
ırtante de permettre le réglage de l'écart relatif de vi-
; seulement on ne peut le changer qu'en modifiant la
se de régime, ce qui nécessite le changement de la
smission du mouvement du volant au régulateur. On
eut donc pas régler l'écart *à la main* comme dans l'ap-
il que nous venons de décrire. Cependant, une fois
ırt bien choisi, le régulateur de M. Andrade fonctionne
aitement bien; on a pu en voir de nombreuses applica-
à l'Exposition.

ous avons insisté particulièrement sur la disposition
édente, parce que nous la prendrons comme type du
lateur de vitesse le plus parfait; elle permet, en ré-
:

De faire varier l'écart relatif de vitesse sans modifier
tesse de régime;

De faire varier la vitesse de régime sans modifier l'é-
de vitesse.

us verrons plus loin que les régulateurs de pression,
mpérature, etc., doivent jouir de propriétés analogues
être dans les meilleures conditions possibles.

RÉGULATEUR A COMPENSATION DE M. DENIS.

§ 26. — La machine de MM. *Weyher* et *Richemond*, qui a obtenu un grand prix à l'Exposition, est munie d'un régulateur, dû à M. Denis, et qu'il est bon de signaler. Cette machine a un volant assez faible; son régulateur est du type de Porter, agissant sur une distribution à came analogue à celle de Farcot; l'écart de ce régulateur est très-grand, et cela doit être, à cause de la faible dimension du volant. Malgré cela, la vitesse de rotation est rigoureusement constante quelle que soit la valeur du travail résistant, si l'on compte cette vitesse *en nombre de tours à la minute.*

Voici en quelques mots en quoi consiste l'invention de M. Denis. Supposons que la vitesse de régime qu'on veuille établir soit de 70 tours; désignons par M_0 la position correspondante du manchon. Si le travail résistant vient à diminuer, le manchon se lève et il restera dans son position M_1 correspondant à une vitesse de 75 tours, par exemple. S'il s'agissait d'un régulateur de Porter ordinaire, la nouvelle vitesse de régime garderait la valeur de 75 tours. Mais si nous raccourcissons la bielle de commande de l'organe de réglage, nous pourrons ramener le manchon à son ancienne position M_0 et la vitesse de régime reprendra la valeur primitive de 70 tours. Tel est le principe du régulateur Denis; les raccourcissements et allongements successifs de la bielle de commande sont obtenus par un mouvement automatique qu'il est inutile d'expliquer ici. En résumé ce système permet d'obtenir une vitesse, en nombre de tours à la minute, rigoureusement constante, bien que le volant de la machine soit assez faible. Mais il ne peut en aucune façon empêcher les variations de la vitesse pendant l'intervalle d'une révolution du volant.

Pour les ateliers d'ajustage, ce système peut permettre une économie notable pour le poids du volant; en effet, dans ce cas, la constance de la vitesse par minute a une

ude importance, tandis que les variations de la vitesse s une révolution n'ont pas d'inconvénient. Dans les fila-es, au contraire et dans beaucoup d'autres usines, ce t les variations rapides de vitesse qu'il faut éviter; le ulateur Denis ne saurait donc suppléer à l'insuffisance volant pour ces manufactures.

ULATEUR A PUISSANCE MULTIPLIÉE DE MM. HALL ET WINSDOR.

27. — La machine à balancier de MM. Hall et Winsdor, a obtenu une médaille d'or à l'Exposition, possède un ulateur doué d'une puissance aussi grande qu'on veut, qui est très-utile pour régler directement la détente de aines machines. L'appareil se compose d'un régulateur inaire de Porter; les mouvements du manchon sont com-niqués à une tige verticale. La tige agit sur un appareil rmédiaire, une sorte de servo-moteur, qui oblige une re tige à suivre rigoureusement tous les mouvements de remière. Cette deuxième tige peut exercer des efforts sidérables et mouvoir des appareils de détente, tandis la première n'éprouve jamais que des résistances insi-fiantes ne pouvant pas gêner le régulateur.

INDICATEURS DE VITESSE.

28. — On peut remarquer, en passant, que tous les ulateurs de vitesse à maximum et minimum peuvent vir d'indicateurs de vitesse. Leur sensibilité sera d'au-t plus grande que l'écart relatif de vitesse du système a plus faible pour les positions extrêmes. Il faut se dre compte avec grand soin de la perturbation relative vitesse due aux frottements et faire en sorte qu'elle soit ligeable. De plus, les indications de l'appareil ne sont ctes que si les variations de vitesse sont assez lentes r qu'on puisse négliger l'inertie radiale du système. On t rendre cette inertie assez faible en employant des

régulateurs à ressorts, à petites boules, et animés d'une grande vitesse de rotation. Nous citerons, entre autres, l'appareil de M. Madamet, ingénieur de la marine, et celui de Buss.

Régulateurs à embrayages.

§ 29. — On a cherché, depuis longtemps, à faire agir les régulateurs sur la distribution des machines à vapeur; ces appareils servent alors à régler l'admission de la vapeur, au lieu de régler la pression de l'admission comme les régulateurs à valve. Mais il se présente ici une difficulté. Les régulateurs à boules ne peuvent exercer directement que des efforts très-faibles, à moins de donner aux boules et aux contre-poids des dimensions énormes. (Voir plus loin l'exemple numérique du § 37.) D'un autre côté, les anciens systèmes de distribution possédaient des organes de détente très-difficiles à mouvoir.

Les moteurs hydrauliques sont aussi réglés par des vannes qui, souvent, ne peuvent être mises en mouvement que par des efforts assez considérables.

On a eu alors l'idée de faire du régulateur un simple appareil d'embrayage, dont nous allons expliquer le fonctionnement. Ces appareils donnent, le plus souvent, de très-mauvais résultats; nous allons expliquer comment ils soumettent la vitesse de la machine à des oscillations entre des limites très-éloignées et pourquoi on doit les exclure de la pratique. Le régulateur est, comme toujours, invariablement relié au volant de la machine; soit K le rapport de leurs vitesses angulaires; soit Ω la vitesse angulaire de régime du volant. Je choisis deux valeurs ω_1 et ω_2 de la vitesse comprenant la valeur Ω et dont l'écart relatif $\frac{\omega_2 - \omega_1}{\Omega}$ soit notablement supérieur à l'écart relatif de vitesse du volant. Cela posé, soit A (*fig.* 20) un arbre terminé par un pignon A. Il est mis en relation avec la distribution de la machine, de manière à

ou diminuer l'admission de la vapeur, lorsqu'il
lui-même dans un sens ou dans l'autre.
u manchon M du régulateur un système de deux
et C disposés de façon à mettre B en prise avec A,
régulateur atteint la vitesse $K\omega_2$ et C lorsque la
ient égale à $K\omega_1$, ce qui est facile puisque nous
culer les valeurs de ω en fonction de la distance
n au sommet du régulateur (voir § 7). Si le tra-
r est égal au travail résistant, et que la vitesse ω
oit comprise entre ω_1 et ω_2, le régulateur restera
nt sans action. Mais s'il survient une variation
avail moteur ou résistant, il y a lieu de chercher
a série d'oscillations par lesquelles la vitesse va
nt que le mouvement uniforme et la vitesse de
soient établis.
nplifier cette étude, nous allons faire les hypo-
vantes :
avail moteur et le travail résistant, par tour de
uvent être considérés comme indépendants de la
volant, dans des limites où elle est exposée à

que la roue A est en prise avec l'un des pignons
on, la variation t du travail moteur, pour un tour
, est constante. Cela revient à supposer que les
du travail moteur sont proportionnelles aux
nts angulaires du pignon A.
x hypothèses sont très-sensiblement réalisées dans
e, pour les machines à vapeur réglées par la dé-

sé, supposons le mouvement du volant uniforme
se comprise entre ω_1 et ω_2. Le travail moteur est
au travail résistant, que je désigne par R_0. Sup-
e le travail résistant vienne à diminuer, qu'il
e nouvelle valeur R et qu'il la conserve indéfini-
achine s'accélère ; elle atteint bientôt la vitesse ω_2 ;

le pignon B se met dès lors en prise avec A et l'admission se ferme progressivement. Comptons les tours du volant à partir de ce moment.

Pendant un tour de volant, la demi-variation de force vive du volant. . . . . $= R_0 - R$,
Pendant le deuxième tour — $= R_0 - R - t$,
Pendant le $(n+1)^e$ — $= R_0 - R - nt$.
Pendant les $(n+1)$ tours, la demi-variation totale. . . . $= (n+1)(R_0 - R) - t\frac{n(n+1)}{2}$.

Si nous posons $R_0 - R = nt$, on voit que la vitesse cesse de s'accélérer pendant le $(n+1)^e$ tour; le travail moteur est alors exactement égal au travail résistant. Soit Ω_2 la valeur de la vitesse pendant ce $(n+1)^e$ tour. On a donc l'équation suivante en désignant par I le moment d'inertie du volant et des pièces tournantes de tout l'atelier rapportées au volant :

$$\frac{I}{2}(\Omega_2^2 - \omega_2^2) = (n+1)(R_0 - R) - t \times \frac{n.(n+1)}{2},$$

équation qui permet de calculer Ω_2.

Puis, à partir du $(n+2)^e$ tour, la vitesse diminue et la demi-variation de force vive, à chaque tour du volant, repasse par les mêmes valeurs, avec le signe contraire.

Il en résulte que, après le $(2n+1)^e$ tour, la vitesse sera devenue de nouveau égale à ω_2 ; mais cette fois le travail moteur a acquis la valeur $R_0 - 2nt$ au lieu de la valeur $R = R_0 - nt$ qu'il devrait avoir pour que le mouvement pût rester uniforme.

Ainsi, au retour de la vitesse à la valeur ω de régime, travail moteur est devenu inférieur au travail résistant la valeur $nt = R_0 - R$. La machine ralentit forcément ; pignon B lâche A et le manchon descend. Lorsque la vites est tombée à la valeur ω_1, le pignon C se met en pri

A ; comptons de nouveau les tours à partir de cet
nt. Le travail moteur qui n'a pas changé depuis que le
n B a lâché A est égal à $R_0 - 2nt$. Après le $(n+1)^e$
il aura la valeur $R_0 - 2nt + nt = R_0 - nt = R$.
ce moment la vitesse passera par un minimum Ω_1
é par l'équation

$$\frac{I}{2}(\Omega_1^2 - \omega_1^2) = (n+1)(R - R_0) + t \times \frac{n(n+1)}{2},$$

r égale et de signe contraire à celle de $\frac{I}{2}(\Omega_2^2 - \omega^2)$.

la vitesse s'accélère et reprend la valeur ω_1 après
$n+1)^e$ tour ; le travail moteur est alors égal à
$2nt + 2nt = R_0$.

is tout recommence identiquement comme la première
t ainsi de suite indéfiniment.

ısi la vitesse de la machine oscille indéfiniment entre
aleurs Ω_1 et Ω_2 que nous savons calculer : de plus,
ıvail moteur oscille perpétuellement entre les va-
R_0 et $R_0 - 2nt$, c'est-à-dire entre $R + (R_0 - R)$
$-(R_0 - R)$, au lieu de garder une valeur égale au
il résistant R.

ne saurait empêcher le travail moteur d'osciller entre
mites ; pour que ces oscillations ne soient pas désas-
es pour la machine et pour l'atelier, on est forcé de
donner le temps de se produire lentement ; pour y
er, il suffit de donner à t une valeur assez faible ; alors
dra un grand nombre de tours n pour que le pro-
t soit égal à la variation du travail résistant. L'oscil-
comprendra alors $2n$ révolutions du volant. Il faut
er à t une valeur au plus égale à $\frac{1}{10}$ du travail moteur
num de la machine par tour de volant ; on lui donne
ent une valeur bien plus faible. La valeur de t étant
une fois pour toutes, on peut en déduire, dans chaque
a valeur de n.

De plus, on a :

$$n = \frac{R_0 - R}{t}.$$

Substituons cette valeur de m dans les équations précédentes, on a :

$$\frac{1}{2}(\Omega_2^2 - \omega_2^2) = -\frac{1}{2}(\Omega_1^2 - \omega_1^2) = \frac{1}{2}(R_0 - R)\left(\frac{R_0 - R}{t} + 1\right).$$

Cette formule permet de calculer le moment d'inertie du volant de manière à rendre Ω_1 et Ω_2 aussi peu différents qu'on voudra. Nous avons vu qu'on ne peut pas donner à t une valeur très-grande ; il faut, dans ces conditions, des volants énormes pour obtenir des valeurs Ω_1 et Ω_2 pas trop éloignées.

En résumé : le travail moteur oscille indéfiniment entre les valeurs $R - (R_0 - R)$ et $R + (R_0 - R)$. La vitesse oscille indéfiniment entre des limites d'autant plus éloignées que la valeur de la variation $R_0 - R$ est plus grande.

Cherchons à présent quelle sera l'influence d'une deuxième variation du travail résistant. Soit R' la nouvelle valeur du travail résistant ; elle peut être comprise entre R_0 ou R ou bien être encore plus petite que R. Supposons d'abord que R' soit comprise entre R_0 et R ; nous venons de voir que lorsque la vitesse diminue et est comprise entre ω_2 et ω_1, le travail moteur est inférieur au travail résistant de la valeur $R_0 - R$; si la nouvelle valeur du travail résistant est supérieure à R, l'excès devient $R_0 - R' = (R_0 - R) + (R - R')$; le travail moteur oscille alors entre des valeurs plus éloignées qu'auparavant ; il en est de même pour la vitesse.

Aussi, dans ce cas, bien que la deuxième variation du travail résistant l'ait rapproché de la valeur primitive, l'écart des oscillations a été augmenté. Au contraire, l'écart des oscillations aurait été diminué si la deuxième variation s'était produite pendant la période d'accroissement de la

. Enfin, si R′ est encore plus petit que R, les mêmes
reproduiraient, mais en sens contraire. Il en résulte
›rès une série de petites variations positives et néga-
u travail résistant, tombant chacune dans un mau-
oment, les oscillations pourront être aussi grandes
il s'était produit d'un seul coup une variation du
résistant égal *à la somme des valeurs absolues* des
variations qui ont eu lieu. Il peut même arriver que
tude des oscillations du travail moteur devienne si
qu'elle atteigne le maximum ou le minimum que la
ıtion assigne à l'admission de la vapeur. Les cons-
rs de régulateurs à embrayages l'ont si bien compris
ijoutent à leurs appareils un système permettant au
de lâcher prise plutôt que de casser la distribution.
a chaque fois une chance sur deux pour qu'une varia-
travail résistant se produise dans un mauvais mo-
il est très-rare qu'un grand nombre de variations se
ıent toutes dans ces conditions; il en résulte qu'il
z rare de voir les oscillations prendre une très-grande
ıde. C'est néanmoins une simple question de proba-
sur lequel il n'est pas raisonnable de fonder le prin-
ın appareil.
ratique est parfaitement d'accord avec la théorie.
;ulateurs à embrayages soumettent la machine à des
ions de vitesse très-nuisibles lorsque le travail résis-
rie brusquement d'une quantité notable. Dans le cas
où les variations se font dans des limites très-res-
;, le hasard peut faire qu'elles aient les mêmes incon-
s. Ces régulateurs sont donc des appareils capricieux
ut exclure de tous les ateliers qui demandent de la
ité. En outre de ce défaut capital, ils offrent un
danger. Nous avons vu, en effet, qu'on est obligé
ıer à t une valeur assez faible, en sorte qu'il faut un
ıombre de tours de la machine pour fermer l'ad-
. Pendant ce temps, si la courroie principale de la

machine vient à tomber, la machine peut s'emporter et causer un accident.

Pour les moteurs hydrauliques, le raisonnement précédent n'est plus applicable, parce que les déplacements de la vanne sont loin d'être proportionnels aux variations correspondantes du travail moteur. On pourrait voir, néanmoins, qu'il se produirait dans ce cas des oscillations considérables de la vitesse qu'il est bien préférable d'éviter.

Il faut donc proscrire, pour les machines à vapeur, les régulateurs à embrayages et adopter *toujours* l'action directe du régulateur sur l'organe de réglage.

Nous avons déjà vu que le régulateur de MM. Hall et Winsdor peut être très-puissant ; nous en rencontrerons d'autres par la suite, ayant cette même qualité.

Régulateurs munis de freins à huile.

§ 30. — Dès qu'on eut appliqué aux machiues à vapeur les régulateurs isochrones, on s'aperçut qu'ils soumettaient la valve à des oscillations dont nous avons indiqué les causes diverses. Au lieu de renoncer à l'emploi des régulateurs rigoureusement isochrones, on a cherché à remédier à ses inconvénients. On eut alors l'idée de relier le manchon à un petit piston percé d'un trou et se mouvant dans un cylindre plein d'huile. On applique aussi ce dispositif sur des régulateurs non isochrones, mais dont l'écart relatif de vitesse est trop faible pour empêcher les oscillations. Il est bien certain que, de cette façon, on peut empêcher les mouvements brusques du manchon, bien que l'équilibre statique du système ne soit en rien changé. Mais la position du manchon cesse d'être une fonction de la vitesse du volant. Si donc le travail résistant diminue subitement, le manchon ne peut pas monter aussi vite que dans un régulateur sans frein à huile ; cela donne lieu à une augmentation de la vitesse, qui peut être assez notable si le

est énergique ; ensuite la vitesse passera par une série
illations plus ou moins analogues à celles des régula-
à embrayages. Un régulateur isochrone muni d'un tel
eil est donc un trompe-l'œil : la vitesse par seconde
varier dans des limites bien plus étendues qu'avec un
égulateur à maximum et minimum. Si la courroie prin-
e de la machine vient à tomber, l'action du régulateur
être assez retardée pour donner lieu à un accident.
tude théorique de ces oscillations serait très-difficile
e ; en pratique, quand les variations du travail résis-
sont faibles, ces appareils fonctionnent bien lorsqu'on
socie à un régulateur ayant en lui-même quelque sta-
et que l'on donne au frein à huile une très-faible
gie. Cependant, nous croyons que leur emploi n'est
ment motivé.
y a cependant un cas où le frein à huile peut rendre
ervices. On a vu, à l'Exposition, que la plupart des
elles machines à vapeur ont des distributions qui
ent être réglées directement par le régulateur, avec
efforts très-faibles. De plus, on s'est souvent imposé
ndition de fermer brusquement l'admission. Il ré-
de toutes ces dispositions que le manchon du ré-
eur est le plus souvent soumis à des chocs assez
nts, et cela plusieurs fois par révolution du volant.
que le mouvement du manchon ne soit pas trou-
par ces percussions, il conviendrait de donner aux
s et aux contre-poids du régulateur des dimensions
fortes ; c'est ce que les constructeurs n'ont pas tou-
assez compris. En tout cas, pour éviter l'effet disgra-
d'un régulateur un peu volumineux, on a souvent re-
à un frein à huile d'une puissance assez faible. On peut
eurs régler sa puissance en modifiant l'ouverture qui
e passage à l'huile. Dans ces conditions, l'emploi d'un
à huile, réglé à la main, est parfaitement motivé. On
remarquer à l'Exposition que ces freins sont le plus

souvent associés à un régulateur de Porter pur et simple ou à un régulateur de Farcot *convenablement calculé*. La machine Corliss est munie d'un régulateur de Watt dont l'écart est environ de $\frac{1}{10}$, avec frein à huile. Les machines Sulzer possèdent un régulateur de Porter dont l'écart est de $\frac{1}{80}$ environ, avec frein à huile.

Régulateurs à pression de gaz ou de liquides.

§ 31. — Nous allons décrire un genre de régulateurs qui ont sur les régulateurs à boules l'avantage de pouvoir exercer des efforts considérables sans être très-encombrants.

§ 32. **Régulateur Larivière.** — Le régulateur Larivière se compose d'un corps de pompe relié au mouvement du volant et qui fait le vide au-dessus d'un piston (*fig.* 21) qui se meut dans un cylindre B. L'air entre dans le haut du cylindre par un petit robinet *r* dont on règle l'ouverture à volonté. La partie inférieure du cylindre est ouverte à l'air libre. Un poids P fait équilibre au vide produit par la pompe; le manchon M de l'appareil est relié à la valve ou à l'organe de réglage de la machine. Il est facile de voir que cet appareil constitue un régulateur isochrone de vitesse. Si on donne au corps de pompe une grande dimension, le manchon M oscillera d'une façon désordonnée à chaque coup du piston de la pompe; de plus, l'appareil sera soumis à des oscillations du genre de celles des régulateurs isochrones à boules. Si on donne à la pompe une petite dimension, le manchon ne pourra plus se mouvoir brusquement; un tel système est assimilable, dans une certaine mesure, aux régulateurs isochrones munis de freins à huile; il donne de bons résultats si les variations du travail résistant sont faibles ou lentes.

Une légère modification peut transformer le régulateur Larivière en un excellent appareil; voici en quoi elle con-

e (Pl. XI, *fig.* 14) : on remplace le vide par de l'air
ıprimé qu'on envoie sous le piston : l'air comprimé est
oyé par un ventilateur A ou par un système de plu-
ırs petits corps de pompe pour régulariser le mou-
ıent. On fait équilibre à la pression de l'air par un
ls, puis on enroule autour de la tige du piston un res-
à spirale qui est dans l'état naturel lorsque le man-
ı est en bas de sa course, et légèrement comprimé
qu'il est en haut. Soit P le poids et p la compression du
ort lorsque le manchon est en haut de sa course. Avec
e addition, l'appareil devient un régulateur à maximum
ninimum, car il y a une position d'équilibre du man-
ı pour chaque valeur de la vitesse de la machine.
n règlera la vitesse de régime de la machine en réglant,
tâtonnement, l'ouverture du robinet de sortie de l'air.
règlera l'écart relatif de vitesse du régulateur en ayant
disposition plusieurs ressorts de moins en moins raides
u'on essayera successivement. On réduira ainsi cet
t à la valeur la plus faible que puisse comporter le
nt de la machine. On donnera au piston une section
sante pour que la perturbation relative de vitesse due
frottements de l'organe de réglage soit notablement
faible que l'écart relatif de vitesse qu'on désire ob-

53. **Régulateur Allen.** — Nous allons donner la descrip-
d'un nouveau régulateur qui a été très-remarqué à
osition de Philadelphie ; c'est sans contredit celui qui
e plus puissant sous le plus petit volume ; voici en quoi
nsiste : il se compose d'un arbre A (Pl. XI, *fig.* 15) qui
ne avec une vitesse proportionnelle à celle du volant ;
rbre est relié au volant par une courroie et une poulie H,
çon à tourner notablement plus vite. Sur cet arbre est
une roue à palettes B qui barbote dans un tambour C à
é rempli d'huile ; il est hérissé de chicanes sur sa sur-
intérieure pour empêcher l'huile d'être entraînée par

les palettes dans le mouvement de rotation. Ce tambour est fixé à un axe D sur lequel est calée une poulie E sur laquelle s'enroule une chaîne portant un poids P. Le poids empêche le tambour d'être entraîné dans le mouvement de rotation de la roue à palettes B. Le mouvement de rotation de l'axe D fait mouvoir une valve, une soupape équilibrée ou un organe d'obturation quelconque. Un tel système constitue un régulateur de vitesse isochrone. Une modification très-simple a permis à l'inventeur de donner à l'appareil toute la stabilité désirable. La poulie E, au lieu d'être circulaire, a la forme d'une spirale, de sorte que le moment du poids augmente à mesure qu'il s'élève. L'appareil devient alors un régulateur à maximum et minimum.

Soient m_1 et m_2 les moments du poids correspondant aux positions extrêmes de l'organe d'obturation. Dans un tel appareil, la pression des palettes est proportionnelle au carré de leur vitesse de rotation ; soit ω la vitesse angulaire des palettes ; cherchons la valeur de l'écart relatif de vitesse du régulateur en fonction de m_1 et m_2 ; on a :

$$m_1 = K_1\omega_1^2, \text{ et } m_2 = K.\omega_2^2,$$

$$m_2 - m_1 = K(\omega_2^2 - \omega_1^2) = K(\omega_2 - \omega_1)(\omega_2 + \omega_1),$$

d'où $\dfrac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_2 + \omega_1} = \dfrac{1}{K} \cdot \dfrac{m_2 - m_1}{(\omega_2 + \omega_1)^2}$, ou bien $\dfrac{\omega_2 - \omega_1}{\Omega} = \dfrac{1}{K} \cdot \dfrac{m_2 - m_1}{2\Omega^2}$,

en appelant $\Omega = \dfrac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ la vitesse de régime ; mais Ω^2 est compris entre ω_1^2 et ω_2^2 ou bien entre $\dfrac{m_1}{K}$ et $\dfrac{m_2}{K}$; donc la valeur de l'écart de vitesse $\dfrac{\omega_2 - \omega_1}{2\Omega}$ est comprise entre $\dfrac{m_2 - m_1}{2m_1}$ et $\dfrac{m_2 - m_1}{2m_2}$, soit environ égale à $\dfrac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}$.

Evaluons à présent la perturbation relative de vitesse $\dfrac{d\omega}{\omega}$

à une résistance passive dont le moment soit égal à
$= \mu$.

a : $\omega = \sqrt{\frac{m}{K}}$, d'où $d\omega = \frac{1}{2\sqrt{K}} \times \frac{dm}{\sqrt{m}}$,

$$\frac{d\omega}{\omega} = \frac{1}{2} \times \frac{\mu}{m}.$$

peut obtenir une valeur considérable de m, soit en
ant aux palettes une grande dimension, soit en les fai-
tourner très-vite.

us avons vu qu'on peut faire varier à volonté la vitesse
gime en modifiant le poids P. Comme la spirale ne
ge pas de forme, le rapport $\frac{m_2 - m_1}{\left(\frac{m_2 + m_1}{2}\right)}$, et par suite
t relatif de vitesse ne sont en rien modifiés par le
gement du poids P. Si l'on a à sa disposition plusieurs
es en spirales se rapprochant de plus en plus de la forme
laire, on pourra faire varier l'écart de vitesse sans mo-
la vitesse de régime.

régulateur possède donc toutes les qualités que nous
rencontrées dans le régulateur à boules le plus par-
celui de Watt ou de Porter muni d'un contre-poids
le de Foucault (voir § 24). De plus il peut être doué,
un petit volume, d'une puissance considérable. Nous
eu l'occasion de voir fonctionner le régulateur d'Allen
plusieurs ateliers de métallurgie, où il donne d'excel-
résultats.

un inconvénient ; l'huile s'épaissit et modifie un peu
esse de régime ; on la rétablit en modifiant le poids.

Comparaison des divers genres de régulateurs.

RÉGULATEURS A VALVE OU A DÉTENTE POUR LES MACHINES A VAPEUR.

§ 34. — Nous avons vu que c'est à tort qu'on a reproché au régulateur de Watt de n'être pas isochrone. On a beaucoup reproché à la valve d'être une cause d'augmentation notable de la dépense de charbon ; aussi a-t-on cherché depuis longtemps à faire agir les régulateurs sur la détente. On a dû renoncer aux régulateurs à embrayages ; nous n'avons rencontré que deux types de régulateurs tout à fait modernes, qui soient capables d'exercer directement des efforts vraiment considérables ; ce sont celui de MM. Winsdor et celui d'Allen. Avant de faire un régulateur approprié à tous les systèmes de détente, on a réussi à imaginer des détentes appropriées aux régulateurs connus. C'est à M. Farcot qu'on doit la première idée d'une détente très-douce à manœuvrer, sa distribution à cames, qui forme une invention tout à fait distincte de son système de régulateur à tiges croisées. Dans ces dernières années, on a vu apparaître les distributions de Sulzer, de Corliss, d'Inglis et une multitude de systèmes de détente par entraînement ou déclanchement. Ces distributions jouissent d'une grande vogue, mais on ne saurait nier qu'elles donnent lieu à une assez grande complication.

Il y a donc lieu de se demander si les régulateurs à valve sont réellement une cause d'augmentation de la dépense de charbon. Au premier abord on se prononce pour l'affirmative, parce que l'utilisation de la vapeur est d'autant meilleure que sa température à l'admission est plus élevée. Si l'on examine la question de plus près, on s'aperçoit que les condensations de vapeur, pendant l'admission, sont une des pertes

les plus graves des machines à vapeur (*). Ces condensations sont d'autant plus grandes que la détente est plus étendue; il n'est donc pas impossible qu'il soit aussi avanta-~~~~ de réduire la puissance d'une machine par un étran-ent que par la diminution de l'admission.

erait fort difficile de soumettre la question à un calcul reux, car la thermodynamique ne donne pas encore yen de tenir compte de l'influence des parois métal-s sur la détente de la vapeur humide; mais il a été fait sace des expériences qui montrent qu'il y a fort peu de ence entre les régulateurs à valve et les régulateurs de te, au point de vue de la dépense de combustible (**). xpériences montrent clairement que les détentes trop ngées sont funestes et elles prouvent que les étrangle-s de la vapeur, avant l'admission, n'ont pas l'influence use qu'on leur a souvent attribuée.

55. — Nous résumerons donc ainsi qu'il suit, notre usion :

Si la machine doit être entretenue avec un soin mi-ux, on pourra employer une distribution par entraîne-ou déclanchement, actionnée directement par le ré-eur.

Sinon il est préférable d'employer une distribution s délicate et un régulateur agissant sur une valve ou turateur quelconque comme un tiroir circulaire équi-ou encore une soupape équilibrée.

Il y a un troisième moyen, qui réunit tous les avan-Il consiste à munir la machine d'un régulateur à et d'une détente, variable *à la main*, et d'un système

(*) Voir l'étude de l'influence des parois, dans l'ouvrage de n : *Exposition analytique et expérimentale de la théorie ique de la chaleur*, t. II. Paris, Gauthier-Villars, 1876.

(**) Voir, pour plus de détails, le compte rendu des expériences Hirn, dans l'ouvrage intitulé : *Moteurs à vapeur*. Paris, er-Villars, 1877.

quelconque. Le régulateur se charge de régler la vitesse, quoi qu'il arrive. Le mécanicien réglera à la main la détente, *une fois pour toutes*, de manière à donner à la machine une puissance un peu supérieure au maximum du travail résistant. Dans le cas où une partie notable de l'atelier devrait chômer pendant plusieurs heures, le mécanicien diminuerait alors un peu l'admission; il devra, dans ce cas, l'augmenter de nouveau à la reprise du travail de tout l'atelier, sous peine de voir la machine s'arrêter. Cette manœuvre, fort peu assujettissante, a pour but une petite énonomie de combustible et nullement la régularisation de la vitesse qui est assurée par le régulateur à valve.

Cette excellente disposition a été adoptée dans un grand nombre d'ateliers de métallurgie.

CHOIX DU GENRE DE RÉGULATEUR DANS DIVERS CAS.

§ 36. — S'il s'agit de régulariser la marche d'un petit moteur de physique ou d'astronomie, on emploiera un régulateur de destruction, muni d'ailettes, et aussi rigoureusement isochrone que possible.

S'il s'agit d'une machine à vapeur réglée par une valve, on emploiera un régulateur à boules à maximum et minimum d'un système quelconque, de préférence le régulateur à écart variable.

Si la machine est réglée par une détente douce à manœuvrer, on emploira un régulateur des mêmes systèmes. On n'aura recours au frein à huile que si la grosseur des boules et contre-poids nécessaires pour s'en passer est un obstacle vraiment sérieux. Le compensateur Denis pourra rendre service si l'on désire obtenir une vitesse par minute rigoureusement constante, avec un volant très-faible.

Dans les machines à vapeur donnant le mouvement à des pompes à liquides, il est tout à fait inutile de donner au volant un moment d'inertie considérable; de plus les réac-

ır les pistons sont d'autant moins violentes que le
est moins fort : aussi met-on souvent sur ces ma-
des volants juste assez puissants pour passer les
norts. Avec un tel volant, un régulateur à maximum
mum ne saurait marcher; c'est le cas de lui ad-
un frein à huile pour empêcher les oscillations du
on.

le cas où le régulateur doit être un simple appa-
sûreté, destiné à empêcher la machine de *s'em-*
on emploiera un régulateur à maximum et à mini-
agissant sur une valve, et réglé pour une vitesse
ure à la vitesse de régime. De cette façon, l'appareil
ctionne qu'en cas d'accident; nous lui donnerons
nom de *modérateur* de vitesse.

les machines de bateaux, il peut être utile de mettre
ılateur pour maintenir la vitesse constante, quelle
it la pression dans la chaudière. Le problème est
lifficile parce que l'hélice n'est qu'un volant très-
pour la puissance énorme de la machine. L'écart
de vitesse du volant étant très-grand, il est difficile
ir, dans ces conditions, un bon régulateur. Le régu-
peut aussi empêcher la machine de s'emporter lors-
ans un coup de tangage, l'hélice sort de l'eau. Il
lors d'un simple *modérateur* de vitesse, tel que nous
de le définir; il a sur le régulateur l'avantage de
pas soumis à des oscillations.

t bon de munir les turbines de régulateurs dans les
qui sont exposés à des variations brusques et rapides
vail résistant; ces moteurs peuvent être munis de
eurs à action directe, à condition de produire
e de charge par une vanne très-douce, parfaitement
rée. On a employé aussi, comme moyen de ferme-
une bande de gutta-percha qui est enroulée sur un
e : lorsqu'on fait rouler plus ou moins le cylindre
orifices d'entrée de l'eau, la bande se déroule et

bouche un nombre plus ou moins grand de ces orifices. On a pu voir, à l'Exposition, un petit modèle de turbine dont la vanne est actionnée *directement* par un régulateur à boules; cette disposition est due à M. Barbe: la vanne se compose d'une sorte de tiroir circulaire équilibré, de grandes dimensions; elle se meut avec la plus grande facilité. Nous mentionnerons aussi la turbine centripète, système Decœur; dans cette machine, c'est la force centrifuge de l'eau elle-même, à sa sortie de la turbine, qui est employée à fermer plus ou moins de vannettes mobiles qui interceptent plus ou moins le passage de chaque filet d'eau au sortir de la turbine.

Ces deux systèmes peuvent, sans doute, donner de bons résultats, mais nous croyons qu'il est préférable d'employer le régulateur d'Allen auquel on peut donner très-facilement une puissance très-grande.

Il est plus difficile d'appliquer l'action directe des régulateurs aux roues hydrauliques, car elles consomment en général de grandes quantités d'eau qui arrivent par un canal assez grand. Cependant, on pourrait arriver à établir une vanne pivotant autour d'un axe horizontal ou vertical et assez douce à mouvoir pour être actionnée par un puissant régulateur d'Allen.

Le plus souvent on emploie, pour les moteurs hydrauliques, les régulateurs à embrayages. On arrive, en pratique, à une régularisation passable en empêchant la vanne de se fermer complètement; le régulateur ne peut ainsi obvier qu'à une diminution partielle du travail résistant.

EXEMPLES NUMÉRIQUES.

§ 37. — Nous croyons qu'il est utile de terminer l'étude des régulateurs de vitesse par quelques exemples numériques.

Soit une machine destinée à une filature de fil fin qu'on se propose de régler pour une vitesse de régime de 48 tours

a minute au moyen d'un régulateur à valve. On calculera volant par la méthode exposée § 5 en se donnant un art relatif de vitesse égale à $\frac{2}{64}$, par exemple ; l'écart du gulateur sera de $\frac{4}{64}$ ou $\frac{1}{16}$: Choisissons, par exemple, le gulateur de Porter ; les valeurs extrêmes de la vitesse sont $= 46{,}5$ tours et $m_2 = 49{,}5$ tours. (Voir § 7 et *fig.* 6).

Dimensions du régulateur. — On a :

$$\frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{l_1 - l_2}{2} \times \frac{m_1^2 + m_2^2}{m_2^2 - m_1^2} = 0^m{,}800,$$

donnant à la course $l_1 - l_2$ du manchon la valeur de centimètres ; on a donc :

$$l_1 = 0^m{,}850 \text{ et } l_2 = 0^m{,}750.$$

Prenons arbitrairement $a = b = 0{,}600$ (valeur un peu us grande que $\frac{l_1}{2}$).

a :
$$n_1 = \sqrt{\frac{1800}{l_1}\left(1 + \frac{Q}{P}\right)},$$

se donne arbitrairement $\frac{Q}{P}$. Soit $\frac{Q}{P} = 9$, par exemple. On a $= 145$ tours, d'où $\frac{n_1}{m_1} = \frac{145}{46{,}5} = 3{,}1$, tel est le rapport vitesses du régulateur et du volant.

Poids des boules et du contre-poids. — On a $\frac{dn}{n} = \frac{F}{2(P+Q)}$.

st bon de rendre $\frac{dn}{n}$ au moins cinq fois plus petit que art du régulateur ; aussi

$$\frac{F}{2(P+Q)} = \frac{1}{80}, \text{ d'où } P + Q = 40 \text{ F} ;$$

posons que l'effort F nécessaire pour vaincre les frottements de la valve, soit de 2 kilogr.

on a : $P + Q = 80$ kilogr., comme d'ailleurs $\frac{Q}{P} = 9$,

on a : $P = 8$ kilogr. et $Q = 72$ kilogr.

§ 38. — Nous pouvons faire à cet exemple une application du contre-poids mobile de Foucault. (Voir §§ 23 et 24).

Pour que le régulateur soit isochrone, lorsque le manchon est en bas de sa course, dans sa position l_1, nous avons vu qu'on doit avoir

$$R = \frac{P+Q}{l_1} \times \frac{b^2}{c}.$$

Or $P + Q = 80$ kilog. et $l_1 = 0^m,850$; b et c peuvent être fixés arbitrairement. Faisons par exemple $b = l_1$ et $c = l_1$ ainsi ; on a donc $R = P + Q = 80$ kilog. Ainsi, en résumé, $P = 8$ kilog., $Q = 72$ kilog. et $R = 80$ kilog.

On pourra prendre une course du manchon un peu plus grande que précédemment, de 15 centimètres par exemple, pour augmenter l'écart du régulateur en lui-même, privé du contre-poids R ; on aura ainsi $l_2 = 0^m,700$; d'où on tire

$$n_2^2 = \frac{1800}{l^2}\left(1 + \frac{Q}{P}\right), \text{ d'où } n_1 = 160 \text{ tours, l'écart } \frac{n_2 - n_1}{\left(\frac{n_2 + n_1}{2}\right)} = \frac{1}{10}.$$

On pourra donc faire varier l'écart depuis zéro environ jusqu'à $\frac{1}{10}$ et le manchon pourra exercer un effort de 2 kilog. avec une course de 150 millimètres. Dans ces conditions, on aurait un régulateur puissant pouvant convenir à de grandes machines réglées par une détente par entr ment ou déclanchement..

§ 39. — En résumé, quand on emploie les régulate force centrifuge, on est conduit à donner des dimen assez considérables aux boules et aux contre-poids, peine de perdre tout le bénéfice de la régularisatior plus souvent, les constructeurs hésitent à adopter ce

;ions et cherchent, au contraire, à dissimuler le régu-r, dans la crainte de déparer la machine; il en résulte la régularité de la marche s'en ressent beaucoup.
l'on a soin de disposer le bâti de la machine pour offre un support élégant au régulateur, l'œil ne saurait choqué de l'importance de cet appareil; il est tout rel, au contraire, que la machine soit dominée par le lateur qui est, en quelque sorte, l'âme du moteur.

DEUXIÈME PARTIE.

ULATEURS DE PRESSION ET DE DÉBIT DES FLUIDES.

égulateurs de pression des gaz à haute pression.

PRINCIPE DE CES APPAREILS.

;o. — On peut établir des régulateurs de toutes sortes, uivant pas à pas la marche que nous avons indiquée les régulateurs de vitesse; parlons d'abord des appa-servant à régler la pression ou le débit des gaz.
pposons qu'un gaz quelconque pénètre dans un réser-A (Pl. XII, *fig.* 22), par un tuyau B; il en sort par un ;e C pour s'écouler dans l'atmosphère ou bien dans un u où règne une pression que nous désignerons par π. P la pression du milieu d'où vient le gaz et p la pression égime qu'on désire obtenir dans le réservoir A; nous oserons le réservoir A assez grand pour que la vitesse ourants gazeux y soit négligeable. Proposons-nous de r l'excès de pression $p - \pi$, quelles que soient les tions des pressions P et π; posons $p - \pi = q$.

A l'entrée du réservoir, on a placé un petit obturateur conique E parfaitement *équilibré*, par un moyen quelconque; en d'autres termes, la valeur de la pression P ne doit influer en rien sur sa position. Ce bouchon conique est mis en relation par une tige avec un piston M qui peut se mouvoir dans un cylindre D. La partie inférieure du piston est soumise à la pression p; la partie supérieure est supposée en relation avec le milieu où règne la pression π; en outre, on charge d'un poids Q le piston. On voit de suite que l'appareil constitue un régulateur de l'excès de pression $p - \pi = q$. En graduant le poids Q, on pourra faire varier la valeur de q. Mais un tel appareil serait en équilibre *indifférent* comme les régulateurs de vitesse *isochrones*; nous verrons plus loin qu'il serait sujet à des oscillations continuelles de l'obturateur.

Une légère modification peut supprimer cet inconvénient. Il suffit de placer autour de la tige du piston M un petit ressort en spirale qui soit à l'état naturel lorsque le bouchon conique est ouvert, et qui soit soumis à une compression T lorsque le bouchon est fermé; dans ces conditions, l'appareil devient stable; en d'autres termes, il y a une position d'équilibre du bouchon conique pour chaque valeur de l'excès de pression q; désignons par q_1 et q_2 les valeurs de l'excès de pression correspondant aux positions extrêmes du bouchon. Nous aurons un régulateur à maximum et minimum dont l'écart relatif de pression $\dfrac{q_2 - q_1}{\left(\dfrac{q_2 + q_1}{2}\right)}$ est égal, à très-peu près, à $\dfrac{T}{Q}$.

Il est facile de s'assurer que l'équilibre de l'appareil mobile est *stable*; si le cône du bouchon était renversé, on aurait un appareil *instable* analogue au régulateur de Farcot pris dans certaines conditions (voir § 11). Un tel appareil remplit donc les conditions que nous avons préconisées pour les régulateurs de vitesse.

En graduant le poids Q, on pourra faire varier l'excè-
... ession q. En essayant quelques ressorts de raideurs
...entes, on pourra réduire par tâtonnement l'écart rela-
... pression à la valeur strictement nécessaire pour éviter
...cillations.

...is le piston et le bouchon donnent lieu à des résis-
...s passives. Soit F la valeur de toutes ces résistances; ...it de suite que *la perturbation relative de pression* ... F est égale à $\frac{F}{Q}$; il faudra que F soit notablement ... petit que la compression T du ressort pour qu'on ...e profiter de la précision du régulateur.

... disposition que nous avons figurée donne lieu à des ...ments assez considérables; nous l'avons choisie pour ...nmodité de la démonstration; nous citerons plus loin ...ppareils qui évitent en partie cet inconvénient.

...mporte de se demander si les régulateurs de pression ...aussi sujets aux oscillations que les régulateurs de vi-... Tout d'abord, la première cause d'oscillations n'a que ... ici; la deuxième et la troisième subsistent seules; au-...nt dit, quand le piston se déplace, il tend à dépasser ...sition d'équilibre par suite de son inertie; comme sa ...e est toujours très-faible, c'est fort peu de chose. C'est ...ut l'existence des frottements où la troisième cause ...illations s'oppose à l'emploi d'un écart relatif de pres-...rès-faible. Il arrive souvent, en effet, qu'il existe une ... de frottement au départ, que le piston soit, pour ainsi ... *collé* dans le cylindre; alors, si l'appareil ne jouit pas ... grande stabilité, le bouchon se meut par soubresauts. ...atique, on évitera cet inconvénient en donnant à la ...ression T du ressort une valeur 4 ou 5 fois plus grande ...a valeur F des frottements. Si on parvient à rendre ...ottements très-faibles, on pourra donc réduire l'écart ...f de pression du régulateur à une valeur assez faible.

... doit remarquer que le réservoir A joue le même rôle

qu le volant des machines à vapeur. On se rappelle que l'une des fonctions du volant consiste à empêcher la vitesse de varier *rapidement*, quoi qu'il arrive; il donne ainsi au régulateur le temps d'agir. Il en est de même dans le cas actuel; le réservoir A fait *volant de pression*; il doit être d'autant plus volumineux que les valeurs de P ou de π sont exposées à varier plus brutalement. On pourrait en calculer le volume dans chaque cas; mais on peut toujours lui donner, à vue d'œil, une valeur plus que suffisante.

Comme le gaz s'écoule par un orifice constant sous une pression constante q, l'appareil constitue aussi un *régulateur de débit*.

APPLICATIONS AUX LOCOMOTIVES A AIR COMPRIMÉ ET A EAU SURCHAUFFÉE; SYSTÈMES RIBOURT, MÉKARSKI, ETC.

§ 41. — Les régulateurs de pression ont une application intéressante dans les locomotives et les tramways à air comprimé. Dans ces machines, on accumule de l'air comprimé à 25 atmosphères environ; pendant le voyage, la pression baisse dans le réservoir. Si on ne prenait aucune précaution, le travail moteur irait ainsi en décroissant indéfiniment, et la marche de la machine serait fort irrégulière. Pour y remédier, on dispose un régulateur de pression entre le réservoir et les cylindres de la machine; on fixe à 6 atmosphères, par exemple, la pression que l'air doit avoir à son admission dans les cylindres; de cette façon, le travail moteur reste constant. On remplace l'air du réservoir lorsque sa pression est tombée à 6 atmosphères. M. Ribourt a disposé un régulateur de pression sur les locomotives qui font le service dans les travaux de percement du Saint-Gothard; cet appareil ressemble beaucoup à celui que nous avons décrit; seulement, le bouchon conique est remplacé par un tiroir circulaire équilibré (*).

(*) Voir, pour plus de détails, l'*Engineering*, du 25 octobre 1875. — Londres.

Pour cette application, le *volant de pression* n'a pas besoin d'être bien puissant, car la pression du réservoir d'air comprimé diminue très-régulièrement; aussi le réservoir A
ɟ. 22 a-t-il un très-petit volume dans les régula-
: pression destinés aux locomotives à air comprimé.
ékarski a imaginé une disposition meilleure qui ne
.ieu à aucun frottement. L'obturateur est un bou-
nique qui n'est pas équilibré; mais sa surface est
ite par rapport à celle du piston; il en résulte que
ations de la pression en amont du bouchon n'ont
influence négligeable sur sa position. Le piston M
) est remplacé par une membrane en caoutchouc
ne l'entrée du cylindre D; son élasticité lui permet
r de petits déplacements sous des efforts très-faibles;
arski évite ainsi les frottements du piston de l'ap-
précédent. Cette membrane est soutenue par un
métallique relié à l'obturateur conique. Au-dessus
nembrane se trouve une petite couche d'eau; au-
de l'eau on a réservé un petit matelas d'air com-
qui fait équilibre à la pression qui s'exerce sous la
ane. Un piston plongeur, mis en relation avec la pe-
iche d'eau, permet de faire varier la pression de
; on peut graduer l'écart relatif de pression de l'ap-
n réglant la proportion d'eau et d'air qui se trou-
ı-dessus de la membrane. Cet appareil fonctionne
gulièrement dans les tramways à air comprimé de
arski.

signalerons aussi le régulateur de pression de
rdon, qui est une sorte de manomètre métallique
niquant avec le milieu dont on veut régler la pres-
eulement, l'extrémité du tube flexible, au lieu d'être
une aiguille, est mise en relation avec une petite
e équilibrée : c'est encore un régulateur de pression
mum et minimum.

ı M. Legat, ingénieur civil, a exposé un modèle de

régulateur de pression basé sur les mêmes principes. Le piston, qui se meut avec la plus grande facilité, est maintenu en équilibre par un poids et par la pression du petit matelas d'air, qui remplace le ressort en donnant au piston mobile toute la stabilité désirable.

Les mêmes appareils ont été appliqués aux locomotives sans foyer, qui emportent une provision d'eau chaude à 25 atmosphères (systèmes du docteur Lamm et de M. Francq).

Régulateurs de débit des gaz à faible pression.

PRINCIPE DE CES APPAREILS.

§ 42. — Les appareils précédents pourraient théoriquement être employés quelle que soit la pression qu'on veut obtenir; cependant, lorsqu'il s'agit de pressions de 50 à 100 millimètres d'eau, les résistances passives s'opposeraient à la précision du régulateur. Nous allons décrire sommairement les dispositions qui sont employées lorsqu'on veut régler un excès de pression aussi faible. La *fig.* 23 représente le plus complet de ces appareils.

Le gaz arrive par un tuyau A sous une cloche B, d'où il sort par un tuyau C. L'excès de la pression de gaz sous la cloche sur la pression atmosphérique est réglé par un bouchon conique suspendu à l'intérieur de la cloche et pouvant régler l'admission du gaz. La cloche plonge dans une cuve D remplie d'un liquide inattaquable par le gaz; elle est suspendue à une des extrémités du fléau d'une balance et équilibrée par un contre-poids E plongeant dans le même liquide. Le fléau a ses trois points de suspension M, N, O, en ligne droite, et son centre de gravité coïncide avec l'arête du couteau O.

Le contre-poids E a la même surface de section que la section annulaire horizontale du métal de la cloche; de cette

›n la poussée de l'eau n'a aucune influence sur l'équilibre système, quelle que soit sa hauteur, *à condition que le u soit horizontal;* il pèse le même poids que la cloche et fait équilibre lorsque la pression sous la cloche est égale . pression atmosphérique et que le fléau est horizontal. ›n chargeant la cloche d'un poids P, l'équilibre n'exis- ; que s'il s'établit sous la cloche une pression un peu s élevée que la pression atmosphérique. On voit de suite cet appareil est un véritable régulateur de pression; ;t un régulateur à maximum et minimum, car lorsque la :he s'enfonce en inclinant le fléau, la poussée de l'eau ient plus grande sous le métal de la cloche que sous le tre-poids E. Soit q l'excès de pression qu'on désire ›nir, il variera entre deux limites q_1 et q_2 correspondant positions extrêmes du bouchon conique; l'écart

.tif $\frac{q_1 - q_2}{\left(\frac{q_2 + q_1}{2}\right)}$ dépend de l'épaisseur du métal de la cloche

le la course totale que peut prendre le bouchon conique. peut fixer à volonté la valeur de q en mettant sur la :he un poids P convenable. Mais, d'autre part, on peut ›inuer l'écart relatif du régulateur en élevant le centre gravité du fléau de la balance, ce qui peut être obtenu moyen d'un poids mobile Q se mouvant sur une tige ›lée. Cette disposition, parfaitement satisfaisante pour les ulateurs de précision, est due à M. Wenger; la seule lification qu'on pourrait désirer, c'est l'emploi d'une pape équilibrée au lieu du bouchon conique, qui est sible à la pression qui s'exerce en dessous.

; 43. — Les régulateurs à basse pression ont été ima- ›és pour la distribution du gaz d'éclairage; le premier de appareils a été construit par Clegg, ingénieur anglais. ›tait basé sur le principe de celui que nous venons de rire; seulement la cloche était suspendue à une poulie moyen d'un fil qui portait à son autre extrémité un

contre-poids. Avec cette disposition, l'eau de la cuve, en s'évaporant, modifiait la pression de régime; en outre, l'obturateur se composant d'un gros bouchon conique non équilibré, était sensible à l'influence de la pression qui s'exerçait par-dessous.

On a cherché à remplacer le bouchon conique par divers systèmes de soupapes équilibrées; nous citerons, en outre, les obturateurs de MM. Fergusson, Parkinson et le double cône dû à M. Brunt, qui est employé dans les régulateurs d'émission de la Compagnie du gaz de Paris.

On a cherché aussi, par divers procédés, à diminuer l'écart relatif de pression dû à l'immersion plus ou moins grande de la cuve. M. Legris y est arrivé par une combinaison de contre-poids; M. Wenger a obtenu un régulateur à peu près indifférent par l'emploi d'une cloche conique; M. Giroud obtient des régulateurs tout à fait indifférents par une compensation d'un autre genre. Ces dispositions ont peu d'intérêt; avec une cloche cylindrique on peut obtenir un écart très-faible de $\frac{1}{15}$ et moins; nous avons vu, en outre, comment on peut le faire varier jusqu'à zéro par l'emploi du contre-poids mobile (*fig.* 23). (*)

Enfin, nous mentionnerons un autre genre de régulateurs de pression de gaz, ce sont les régulateurs secs; la pression s'exerce sur une membrane très-flexible qui communique ses mouvements à une soupape. Les plus connus sont ceux de M. Hall et ceux de M. Tice; ils sont beaucoup moins sensibles que les régulateurs à cloche bien disposés.

APPLICATION A LA DISTRIBUTION DU GAZ D'ÉCLAIRAGE DANS LES VILLES.

§ 44. — Les régulateurs de pression que nous venons

(*) Le lecteur trouvera des détails intéressants sur les appareils à gaz dans un ouvrage de M. Giroud : *La pression du gaz d'éclairage et les moyens de la régulariser*. Paris, Giroud, 1867.

d'étudier ont une application très-importante pour la distribution du gaz d'éclairage dans les villes; on peut remarquer, tout d'abord, que les grandes cloches qui servent de réservoir au gaz dans l'usine, constituent, en elles-mêmes, des régulateurs de pression, assez grossiers, il est vrai. Le gaz parcourt une canalisation depuis l'usine jusqu'aux becs où il est consommé, et là, il s'écoule dans l'atmosphère. Si la perte de charge du gaz dans les conduites était négligeable par rapport à la pression dans l'usine, le volume débité par chaque bec serait constant quel que soit le nombre des becs allumés.

Mais il serait trop coûteux d'établir des conduites assez fortes pour y arriver. En pratique, la pression du gaz à l'usine est, dans les villes de moyenne importance, de 100 millimètres d'eau; elle varie de 100 à 30 millimètres dans les conduites. On sait que la perte de charge croît comme le carré de la vitesse, de sorte que la consommation influe beaucoup sur son importance. Puis chaque consommateur règle son robinet de consommation de telle façon que le gaz s'écoule, par chaque bec, sur une pression de 2 à 3 millimètres au plus. On a remarqué que la combustion n'est bonne au point de vue de la lumière qu'avec une vitesse très-faible de sortie du gaz. Ainsi la perte de charge dans les conduites peut aller jusqu'à 70 o/o de la pression à l'usine; au même endroit, elle varie notablement suivant la consommation de gaz dans le quartier où l'on se trouve. Il arrive souvent que la pression dans une conduite varie du simple au triple; cela ferait varier le débit du gaz, par chaque bec, dans la même proportion, si on ne réglait la consommation à la main ou au moyen d'un régulateur de pression.

§ 45. — Pour obtenir un débit constant, par chaque bec, on peut employer des régulateurs de la façon suivante;

1° Le meilleur moyen serait de munir chaque bec d'un régulateur. Les régulateurs secs de M. Tice sont disposés

pour cet usage et sont d'une grande simplicité. M. Giroud construit des appareils plus perfectionnés qui règlent le débit de chaque bec, quelle que soit la pression dans les conduites et quelle que soit la section de l'orifice du bec; cet orifice est, en effet, difficile à régler exactement. M. Giroud désigne cet appareil sous le nom de *rhéomètre*.

2° Dans la majorité de cas, on ne peut mettre un régulateur pour chaque bec: seulement on peut disposer à l'entrée d'une usine ou d'un théâtre un régulateur de *consommation* semblable à ceux que nous avons décrits, et qui mettra les becs de l'usine à l'abri des variations de la pression dans les conduites du quartier. On peut, en outre, se réserver la facilité de pouvoir éteindre une partie des becs de l'usine sans faire varier le débit des becs qui restent allumés; il suffit pour cela de donner aux conduites de l'usine un diamètre suffisant pour que la perte de charge y soit négligeable, depuis le régulateur jusqu'aux différents becs.

3° Si chaque consommateur possédait un régulateur, la pression n'aurait pas besoin d'être réglée parfaitement au sortir de l'usine à gaz, mais tel n'est pas le cas; en outre, on doit se préoccuper de l'éclairage des rues. C'est dans ce but qu'on a imaginé les *régulateurs d'émission*, placés au sortir de l'usine. Ce sont des appareils tels que ceux que nous avons décrits § 43; les grandes cloches servant de réservoir au gaz constituent des régulateurs trop imparfaits pour dispenser de l'emploi des régulateurs d'émission. Ces appareils ne donneraient des résultats tout à fait satisfaisants que si la perte de charge dans les conduites était négligeable. M. Giroud a montré qu'il est préférable de faire *varier* la pression au sortir de l'usine, suivant les besoins de la consommation; il a imaginé dans ce but un régulateur d'émission avec tuyau de retour, qu'il serait trop long de décrire ici. (*).

(*) Voir, pour l'étude des distributions de gaz et les appareils,

Régulateurs de débit pour les liquides.

PRINCIPE DE CES APPAREILS.

6. — Les régulateurs de pression et de débit pour [l]uides, sont basés sur les mêmes principes que ceux ont destinés aux gaz; il faut seulement laisser au e un orifice d'écoulement bien plus grand, ce qui plus difficile la construction de l'organe d'obturation. tre, comme l'eau est incompressible, le réservoir A 2) ne joue plus ici le rôle de volant de pression, de que l'appareil est naturellement très-instable. On lierait à cet inconvénient par l'emploi d'un réservoir relié à l'appareil.

pourrait imaginer des régulateurs de débit à em-ges, mais il est facile de voir qu'ils donneraient lieu à cillations du débit, entre des limites très-éloignées, de que les régulateurs de vitesse à embrayages; il faut les éviter et adopter l'action directe du régulateur.

ICATIONS AUX DISTRIBUTIONS D'EAU ET AUX MONTE-CHARGES HYDRAULIQUES.

7. — On peut avoir besoin de régler le débit de l'eau une distribution. Le régulateur de débit d'eau de ameroy (*fig.* 24) se compose d'un cylindre mobile P nt boucher plus ou moins un orifice B par où l'eau dans l'appareil. L'eau exerce une pression p sous le D et sort par le vide annulaire qui est laissé autour Le poids du disque et du piston P font équilibre à la on p; le débit de l'eau est, par suite, maintenu con-

---

tième partie de l'ouvrage de M. Giroud. Paris, Gauthier-, 1872.

On doit remarquer que l'eau ne peut arriver sous le piston P, dans la capacité H, que par des conduits de faible section; cet artifice constitue une sorte de frein empêchant les mouvements brusques du piston, comme dans les régulateurs de vitesse munis de freins à huile. Il serait préférable de donner de la stabilité au système par l'addition d'un petit ressort. Pour la régularisation du débit de l'eau dans la distribution, on peut faire des remarques analogues à celles du § 44.

Les régulateurs de débit d'eau ont une application intéressante dans les monte-charges et ascenseurs hydrauliques; ils servent à régler la vitesse de la descente quelle que soit la charge de l'ascenseur ou en cas de rupture des chaînes d'équilibre. Nous citerons, entre autres, les appareils de MM. Edoux, Lustremant, Heurtebize.

REMARQUE SUR LA FORME DES ORIFICES D'ADMISSION DE L'EAU.

§ 48. — Il nous reste une remarque à faire sur la forme qu'on doit donner aux orifices servant à l'entrée de l'eau dans les régulateurs.

On sait que, dans une vanne quelconque à orifice rectangulaire, un même déplacement de la vanne a une grande influence sur le débit quand la vanne est près de sa fermeture, mais qu'elle n'a presque aucune action quand l'ouverture est assez grande; voici comment s'explique ce résultat.

Soit s la section laissée par la vanne ponr le passage de l'eau; soit v la vitesse de l'eau à cet endroit et F le débit, maintenu constant par un moyen quelconque.

On a $Q = s \times v$, d'où $dQ = v \times ds$.

Si l'orifice est rectangulaire, les variations ds de la section sont proportionnelles aux déplacements dx de la vanne, ainsi

$$dQ = A \times v \times dx,$$

en désignant par A une constante positive.

Ainsi, pour un même déplacement dx de la vanne, la rbation dQ de débit est proportionnelle à v. Il en ré- cet inconvénient que lorsque l'orifice est presque ., le moindre déplacement accidentel du piston produit perturbation très-grave dans le débit. Pour y remé- il suffit de terminer l'orifice en forme de pointe très- gée, dans les vannes de toutes sortes. Il serait bon de loyer aussi pour les régulateurs de prise de vapeur achines à vapeur. La *fig.* 16 offre une disposition de s qui donne aux valves des propriétés analogues aux .s dont les orifices sont terminées en pointes.

TROISIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DE TEMPÉRATURE.

Régulateurs à dilatation de tiges métalliques.

ig. — Tous les régulateurs de température que nous s décrire servent à maintenir la température d'un u entre deux limites données t_1 et t_2 qui peuvent être ant plus rapprochées que l'appareil est plus parfait.

plus simple des régulateurs de température se com- d'une tige métallique située dans l'étuve dont on veut r la température ; une des extrémités de la tige est fixe, e communique ses mouvements à une soupape équi- par où arrive l'air chaud, le gaz où la vapeur destinés auffage de l'étuve. Ce procédé a l'inconvénient d'exiger iges d'une grande longueur pour obtenir une course ante ; de plus, on a de la peine à empêcher le métal oxyder, si la température est élevée. Nous citerons, autres, le thermostat du docteur Ure, qui est basé sur loi de tiges métalliques.

Régulateurs à dilatation de liquides.

APPLICATION AU CHAUFFAGE RÉGULIER D'UNE SALLE QUELCONQUE.

§ 50. — Pour régler la température d'une étuve, on a souvent employé un réservoir fermé plein d'eau, d'où part un tuyau également plein d'eau, et qui est terminé par une membrane métallique flexible. Cette membrane peut boucher plus ou moins un petit orifice par où on fait passer le fluide servant au chauffage de l'étuve où est placé le réservoir d'eau. La position de la membrane est une fonction de la température; ses positions extrêmes correspondent à des températures t_1 et t_2. Ces températures sont d'autant plus rapprochées que le volume total de l'eau enfermée est plus grand par rapport au volume engendré par la membrane dans son déplacement total; on peut fixer à $t_2 - t_1$ une valeur très-faible, parce que la résistance de la membrane est presque nulle et que l'eau, en vertu de son incompressibilité, à une énorme puissance en se dilatant.

M. Schlœsing a employé un appareil de ce genre dans des études sur la germination, et Claude Bernard s'en servait dans ses expériences sur l'incubation des œufs; (*) il obtenait un écart de température inférieur à $\frac{1}{10}$ de degré.

Il serait facile d'employer ce système pour régler la température d'une salle quelconque ou d'un atelier chauffés par la vapeur. Il suffirait de remplacer le réservoir d'eau du régulateur par un tuyau circulant dans tout l'atelier; une de ses extrémités serait terminée par une membrane élastique dont la position serait une fonction de la température de l'atelier; cette membrane réglerait l'admission de la vapeur servant au chauffage. On donnerait à l'appareil

(*) Voir dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXIV, la description du régulateur de M. d'Arsonval.

-t $t_2 - t_1$ de 1 degré par exemple, ou moins suivant
ection du moyen de chauffage. L'eau peut être rem-
avec avantage par d'autres liquides suivant la tem-
-e à obtenir.

Régulateurs à dilatation de gaz ou d'air.

APPLICATIONS.

. — On peut remplacer les liquides par des gaz ou
l'air ; les dilatations sont bien plus grandes ; mais,
part, l'appareil n'a plus une puissance considérable
lorsque l'on emploie les liquides. De plus, ces appa-
nt sensibles aux variations de la pression atmos-
le.

orel a imaginé un appareil à dilatation d'air. M. Boi-
membre de l'Institut, a basé sur ce principe les appa-
rvant à produire la torréfaction des tabacs à tem-
-e constante. Un réservoir d'air est placé dans
: la dilatation de l'air exerce une pression plus ou
grande sur le tube courbe et flexible d'une sorte de
iètre métallique ; l'extrémité du tube flexible est reliée
ouvements d'un obturateur qui règle l'admission de
aud destiné à la torréfaction. Une disposition spéciale
à l'appareil d'être insensible aux variations de la
n atmosphérique.

Régulateurs à vapeurs saturées.

LICATION AU RÉGLAGE DE LA TEMPÉRATURE DES ÉTUVES ET AUX DISTILLERIES.

. — Les appareils que nous venons de décrire peu-
tre employés pour une température quelconque ;
ucun d'eux ne peut exercer sous un volume restreint,

un effort considérable avec une course notable; ils ne peuvent donc pas servir à mouvoir directement des vannes un peu dures. On pourrait songer à faire du régulateur un simple organe d'embrayage; mais on montrerait facilement que ces appareils donneraient lieu à des oscillations de la température entre des limites très-éloignées. Il faut donc renoncer à cette disposition et employer l'action directe du régulateur.

Voici un appareil qui permet de mouvoir les vannes les plus dures; il est fondé sur l'emploi des vapeurs saturées en présence d'un excès de liquide (*fig.* 25). Dans l'étuve A dont on doit régler la température, on dispose un réservoir B à moitié rempli d'un liquide quelconque; le liquide communique par un tuyau avec un cylindre où se meut un piston C. La pression du liquide qui se trouve dans le réservoir B est une fonction de la température de l'étuve A; elle se transmet sous le piston C; on lui fait équilibre au moyen d'un poids qui est relié à la vanne d'admission de vapeur ou d'air chaud. La partie supérieure du piston C communique avec l'atmosphère. Ainsi disposé, l'appareil est un régulateur *indifférent*, analogue aux régulateurs isochrones de vitesse. On lui donne la stabilité nécessaire par l'addition d'un petit ressort qui est à l'état libre lorsque la vanne d'admission est ouverte, et qui est soumis à une compression q lorsque la vanne est fermée. Connaissant la loi de variation de la température du liquide emprisonné, en fonction de sa pression, il est très-facile de calculer q de manière à fixer l'écart $t_2 - t_1$ de température qu'on se propose d'obtenir, et la perturbation de température dt due aux résistances passives de tout l'appareil. La valeur de dt devra être inférieure à $t_2 - t_1$.

On peut faire varier la température de régime en modifiant le poids Q qui charge le piston; on peut graduer l'écart de température en employant des ressorts de raideurs différentes; l'appareil est donc analogue aux régula-

de vitesse les plus satisfaisants. On choisira le liquide
nt la température, de manière à obtenir une pression
usieurs atmosphères ; de cette façon, les variations de
ession atmosphérique n'auront aucune influence sur
areil. On emploiera le mercure, l'eau, les huiles, les
s ou même les gaz liquéfiables, suivant la tempéra-
à obtenir. Il est bon de remarquer que la tempéra-
' peut être plus basse que la température ambiante ; il
pour cela d'envoyer dans l'enceinte de l'air refroidi
n moyen quelconque.

piston C et le cylindre peuvent être remplacés avec
ıage par un système déformable quelconque donnant
moins de résistances passives.

ı3. — Il n'existe pas encore, à notre connaissance,
areil semblable à celui que nous venons de décrire.
ıison a exposé un modèle de régulateur de tempéra-
ı vapeur saturée ; mais, dans ce système, c'est la va-
et non le liquide qui se trouve sous le piston ; de plus,
un appareil *indifférent* qui n'aurait pas la stabilité dé-
e ; l'addition d'un simple ressort corrigerait ce défaut.
Legat a établi des appareils servant à régler la tem-
ıre des liquides qu'on soumet à la distillation ; un
amène la vapeur du liquide sous un piston jouant le
lu piston C de la *fig.* 25. L'appareil est indifférent ;
egat a évité ses mouvements brusques en lui adjoi-
un petit frein à air analogue aux freins à huile des
ıteurs de vitesse (voir § 30). Nous eussions préféré un
ressort donnant par lui-même la stabilité à l'appareil.

4. — En résumé, les régulateurs à vapeur saturée
ıt être employés quand on a besoin d'une grande
nce pour mettre en mouvement l'organe servant à
le mode de chauffage ; sinon on emploiera de préfé-
les appareils à dilatation de liquides.

volant de chaleur est la quantité de chaleur emmaga-
dans l'étuve et dans les parois ; de même que pour

les régulateurs de vitesse, cet organe servira à parer aux variations brusques de la température et donnera au régulateur le temps d'exercer son action.

QUATRIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DE LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

Régulateurs à action directe.

§ 55. — Dans la plupart des systèmes de lampes électriques, l'étincelle jaillit entre deux charbons qui sont placés en face l'un de l'autre sur une même ligne droite. Ces charbons s'usent rapidement; pour conserver un éclat constant à l'étincelle, on a été amené à employer des appareils qui règlent automatiquement la distance des extrémités des deux charbons. Nous allons voir que ces appareils ont une très-grande analogie avec les régulateurs de vitesse.

Soit i l'intensité du courant électrique, pendant le fonctionnement de l'appareil; on sait qu'elle varie en fonction de la distance des charbons; on a $i = f(d)$. D'autre part, si l'intensité du courant est constante, celle de la lumière l'est aussi. Soient A et B les charbons de l'appareil (*fig.* 26). Le charbon A est mis en relation avec le fil négatif; le charbon B est mis en relation avec le fil positif; seulement, ce fil s'enroule autour d'une bobine D avant d'atteindre le charbon B. Le charbon B est fixé sur une tige de fer doux C qui peut pénétrer plus ou moins dans l'intérieur de la bobine. Le fer doux est attiré par une force qui croît avec l'intensité du courant; cette force est équilibrée par un système convenable de contre-poids. Si les charbons s'usent, la distance AB

augmente et le courant diminue d'intensité; la force attractive ne suffisant plus pour faire équilibre à l'action des -poids, le fer doux C s'élève et rapproche le charbon B rbon A, jusqu'à ce que l'intensité du courant devienne nte pour faire équilibre aux contre-poids; dès lors, peuvent se rapprocher davantage.

est le principe des appareils à action directe. Si l'acerticale des contre-poids était indépendante de la podu fer doux (ce qui n'est d'ailleurs pas le cas de la), l'équilibre s'établirait pour des intensités de couraduellement croissantes depuis un minimum d'in- i_1 jusqu'à un maximum i_2, pendant la durée de la e de l'appareil. On peut diminuer l'écart $i_2 - i_1$ en nt une suspension de contre-poids analogue à celle figurée. On voit que l'action des contre-poids diminue ire que le fer doux s'élève.

peut remarquer que les régulateurs électriques à acirecte rappellent un peu les régulateurs de vitesse *de ction;* de même que ces appareils, ils ne sont pas aux oscillations, et l'on pourrait, sans nuire à la staréduire à zéro la valeur de l'écart $i_2 - i_1$. Ce système ue le principe des régulateurs de MM. Achereau, Jaspar, etc.

ateurs à embrayages et mouvement d'horlogerie.

6. — Il est facile de voir que les régulateurs à emges peuvent être employés dans le cas actuel, sans er les inconvénients que nous avons rencontrés dans gulateurs de vitesse de même genre.

t à Foucault qu'on doit le premier de ces appareils, e principe sur lequel ils sont fondés. Les deux chareuvent être rapprochés par un mouvement d'horloqui est toujours prêt à fonctionner. Le fil positif le autour de la bobine d'un électro-aimant avant

d'atteindre le charbon inférieur de la lampe. Supposons l'appareil en marche et les charbons à une distance convenable; le courant a une certaine intensité I qui est suffisante pour attirer une petite tige de fer doux A (*fig.* 27) malgré la pression d'un ressort antagoniste B. Cette tige A s'appuie en même temps sur un cliquet C disposé de façon à arrêter le mouvement d'horlogerie, lorsqu'il subit la moindre pression. Aussitôt que les charbons se sont un peu usés, l'intensité devient inférieure à I, le fer doux A s'échappe, quitte le cliquet C et dégage le mouvement d'horlogerie. Les charbons se rapprochent, et cela jusqu'à ce que l'intensité et la distance des charbous aient repris leur valeur primitive. Cette disposition ne saurait donner lieu à des oscillations, puisqu'il ne peut y avoir mouvement que dans un sens. Elle a cependant un inconvénient, c'est que si l'on abandonne la lampe à elle-même, sans courant, les charbons se rapprochent jusqu'au contact; on est obligé de régler à la main la distance des charbons quand on met la lampe en marche pour *l'allumer*.

On a imaginé des systèmes de lampes qui *s'allument* automatiquement; les appareils de MM. Dubosc, Serrin, etc, jouissent de cette propriété.

Dans tous ces systèmes, les mouvements d'horlogerie sont disposés de façon à faire descendre le charbon supérieur deux fois moins vite que ne monte le charbon inférieur; cela tient à ce que les charbons positifs et négatifs s'usent inégalement et qu'on cherche à maintenir l'étincelle en un point fixe, pour ne pas sortir du foyer du réflecteur. Le mouvement d'horlogerie doit être muni d'un régulateur de destruction à ailettes (voir § 2) et la machine à vapeur qui sert généralement à la production de l'électricité doit être munie d'un bon régulateur de vitesse (*).

(*) Voir, pour plus de détails, l'ouvrage de M. Hippolyte Fontaine sur l'éclairage à l'électricité. Paris, Baudry, 1877.

CINQUIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DIVERS.

Exemples de divers genres de régulateurs.

57. — On peut construire une multitude d'appareils ılateurs, en suivant les méthodes qui ont été indiquées · les régulateurs de vitesse. On peut citer par exemple les entateurs automatiques qui règlent le niveau de l'eau ; les chaudières ; ces appareils sont tellement simples . est inutile d'en parler ici.

n sait que les chaudières de M. Belleville ne contiennent très-peu d'eau pour une force donnée, le *volant de cha-* de ces générateurs est donc très-faible. Il en résulte la pression est exposée à varier très-rapidement, pour noindre variation de la dépense de vapeur. D'autre , si la dépense de vapeur vient à changer notablement, u'on maintienne le niveau de l'eau constant dans la ıdière, la proportion d'eau entraînée varie nécessaire- t ; on sait, en effet, qu'elle est d'autant plus grande le dégagement de vapeur est plus tumultueux ; on doit : baisser le niveau de l'eau, lorsque la production aug- te, afin de diminuer l'entraînement de l'eau. M. Belle- a parfaitement résolu ces difficultés en munissant ses ıdières de deux régulateurs :

Un régulateur de pression de vapeur qui agit sur un ıtre qui se trouve dans la cheminée, en faisant varier le ;e suivant les besoins de la chaudière ;

Un régulateur d'état d'humidité de la vapeur qui se pose d'une sorte de flotteur dont la position dépend de *t d'humidité* de la vapeur et qui *fait varier* le niveau de ı suivant les besoins de la chaudière ; on obtient ainsi

de la vapeur contenant toujours la même proportion d'eau entraînée. Cette proportion est, d'ailleurs très-faible ; la vapeur est presque sèche.

Ces appareils sont disposés de telle façon qu'on peut régler la pression et l'état d'humidité qu'on désire obtenir pour la vapeur produite ; ils sont stables et constituent de véritables régulateurs à maximum et minimum.

La nature elle-même nous offre de nombreux exemples de régulateurs, par exemple les organes qui règlent la température interne des animaux à sang chaud. Nous ne pouvons entrer dans des détails à ce sujet, mais nous ferons remarquer que ce résultat est obtenu par des *organes* dont la *position* est une fonction de la température, constituent de véritables régulateurs à maximum et minimum. La température interne des organes du corps humain ne varie jamais que d'une fraction de degré.

CONCLUSION.

Règles à suivre pour l'établissement des régulateurs de toutes sortes.

§ 58. — Nous avons montré comment on peut établir des régulateurs de pression, de débit, de température, etc., en suivant pas à pas la marche indiquée pour les régulateurs de vitesse. Ces principes peuvent s'appliquer à la régularisation d'un élément *mécanique* ou *physique* quelconque ; rappelons, en quelques mots, le résumé des règles qu'on doit suivre pour construire ces appareils ; désignons par la valeur de l'élément qu'on veut maintenir constante :

1° Si la valeur de A est exposée à varier rapideme même d'une quantité très-faible, il faut d'abord se procu un *volant* d'autant plus fort qu'on désire obtenir plus

ion dans le réglage. Les régulateurs les plus parfaits t pas, en général, instantanés et ne sauraient suppléer ant.

In cherche à se procurer un organe dont un des M soit une fonction de la valeur de l'élément, dans inage de sa valeur A.

In choisit deux valeurs A_1 et A_2 entre lesquelles devra ntenir A ; ces valeurs correspondent à deux posi- M_1 et M_2 de M qui doivent limiter la course de l'or- léformable ; l'appareil sera d'autant plus difficile à aire que les limites données A_1 et A_2 sont plus rap- es.

In relie le point mobile A à un appareil capable de la valeur de A par ses déplacements ; la valeur de A re une fonction de la position de cet appareil.

In détermine la puissance de l'organe mobile de telle que la perturbation dA causée par toutes les résis- passives, soit notablement inférieure à la valeur de $A_2 - A_1$.

tablira l'appareil, si c'est possible, de façon à pou- re varier à la main la valeur de l'écart $A_2 - A_1$. Il est avoir aussi un moyen de régler à la main la valeur de A.

ı, on évitera, autant que possible, d'employer les ap- à embrayages, à moins qu'on ne puisse s'assurer, dans le cas des régulateurs de lumière électrique, oscillations lentes et étendues ne peuvent pas se pro- ou qu'elles n'ont pas d'inconvénient dans le cas iré.

l'est que lorsque le régulateur contient en lui- ne résistance variable, capable de lui donner la sta- écessaire, qu'on pourra employer un régulateur indif- omme le régulateur isochrone à ailettes de Foucault. ésumé, c'est l'appareil inventé par Watt qui doit le type à l'étude de la plupart des régulateurs.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

RÉGULATEURS DE VITESSE.

DEUXIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DE PRESSION ET DE DÉBIT DES FLUIDES.

ÉTUDE COMPARÉE DES RÉGULATEURS.

TROISIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DE TEMPÉRATURE.

QUATRIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DE LUMIÈRE ÉLECTRIQUE.

CINQUIÈME PARTIE.

RÉGULATEURS DIVERS.

CONCLUSION.

RAPPORT (*)

SUR

LES CAUSES DES EXPLOSIONS DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR
EMPLOYÉS DANS LES SUCRERIES

Par M. L. LUUYT, ingénieur en chef des mines.

Dans ces dernières années, plusieurs explosions de générateurs de vapeur se sont produites dans les fabriques de sucre et souvent avec des conséquences désastreuses. L'attention de l'administration a été attirée sur ce sujet et une enquête spéciale a été ouverte dans les neuf départements où l'industrie sucrière a reçu le plus grand développement (Aisne, Ardennes, Nord, Oise, Pas-de-Calais, Puy-de-Dôme, Seine-et-Marne, Seine-et-Oise, Somme).

Les rapports fournis par les ingénieurs permettent d'apprécier la nature des causes auxquelles ces accidents doivent être attribués.

Dépôts savonneux. — Dans la plupart des établissements, les eaux provenant de la condensation des vapeurs sont ramenées dans les chaudières. Les vapeurs qui ont passé par les machines sont chargées de matières grasses ; celles-ci, en contact avec les eaux naturelles calcaires, donnent lieu à un dépôt savonneux peu conducteur ; s'il devient trop abondant, la tôle s'échauffe outre mesure et peut ne plus offrir une résistance suffisante à la pression intérieure. Plusieurs accidents ont été attribués à cette cause, qui n'est pas spéciale aux fabriques de sucre, attendu que l'utilisa-

(*) Ce rapport a été présenté à la commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 2 juillet 1878.

La commission a adopté les conclusions de ce rapport et émis l'avis qu'il y avait lieu de le publier dans les *Annales des mines*.

›s vapeurs condensées s'opère aussi dans d'autres ies.

.onvénient, ayant été signalé, a presque partout dis- ı cet effet, on a simplement séparé les deux modes ›ntation; une partie des chaudières est exclusive- limentée par l'eau de condensation, l'autre partie .r les eaux naturelles; on évite ainsi le mélange des ›s grasses et des sels calcaires.

ıploi des eaux condensées donne lieu à l'introduc- sirops, lorsque les serpentins, remplis de vapeur à .sse pression et plongés dans les dissolutions de présentent quelques fuites; le sirop y pénètre et se ı réservoir d'eau provenant des vapeurs condensées iné à l'alimentation des générateurs. Nous revien- ›lus loin sur cette particularité.

litions spéciales du travail des fabriques. — Dans la du Nord, les ingénieurs sont unanimes à attribuer grande partie des accidents aux conditions spé- d'installation et de travail des fabriques. Le plus t, les chaudières y sont achetées au meilleur marché e, au détriment de la qualité du métal et de la bonne tion; on y rencontre beaucoup de chaudières d'oc- Elles sont presque toujours insuffisantes pour , dans une allure régulière, la vapeur qui leur est dée; elles sont alors surmenées, ce qui est aussi .s pour la conservation de la chaudière que pour mie du combustible.

ature même de la fabrication exige que toutes les ons soient conduites avec la plus grande rapidité. La ve s'altère à la longue et s'appauvrit en sucre; il y .térêt capital à la traiter dans le moindre délai, et npagnes des sucreries ne peuvent durer que 90 ou urs, sous peine de ne plus trouver la rémunération is avancés. Un temps d'arrêt quelconque se tradui- ımédiatement par une perte irrecouvrable, les cham-

dières, bien qu'insuffisantes, ne sont arrêtées que dans le cas de force majeure; plus de nettoyages, plus de réparations, à moins de dépôts ou d'accidents qui rendent la marche impossible. Cet état, réellement dangereux, est très-fréquent dans la région du Nord. Le remède, facile à indiquer, ne passera point aisément dans la pratique, car il consiste en un accroissement important du matériel des usines, et l'on rencontre toujours de sérieux obstacles à l'augmentation du capital engagé, malgré l'avantage qui en résulterait, en consommation de combustible d'abord, en facilité du travail et en sécurité. Dès que l'on suit la marche des chaudières, on constate des faits qui font ressortir avec évidence la différence des effets produits par les régimes opposés; tandis que les chaudières chauffées modérément se conservent intactes très-longtemps, les chaudières surmenées sont sujettes à des coups de feu, à des déchirures, à des altérations de toutes sortes qui les mettent bientôt hors de service.

Les établissements du Puy-de-Dôme, montés avec un matériel suffisant, ne présentent pas ce défaut.

Une autre cause aussi généralement signalée est l'infériorité des chauffeurs. Les périodes de travail étant intermittentes, on n'entretient pas un personnel permanent; à chaque campagne, on prend de nouveaux chauffeurs, ouvriers errants, souvent de simples manœuvres; en sorte que, d'une part, des conditions de travail plus difficiles, d'autre part, des ouvriers moins capables, tout conspire pour augmenter le nombre des accidents.

L'introduction des jus sucrés dans les eaux d'alimentation apporte souvent une cause de perturbation dans le travail. Les eaux deviennent visqueuses et d'une évaporation plus difficile; elles ont une tendance à mousser, ce qui peut amener des vidanges partielles; enfin elles altèrent les tôles et attaquent les clouures.

Généralement les mélasses contenues dans les chaudières

s'y trouvent à l'état pâteux et disséminées sur toutes les tôles. Lorsque la quantité de sirops a été considérable, on trouve, surtout dans les parties basses des corps cylindriques et des bouilleurs, une poudre noire, qui ne se mouille que très-difficilement; cette poudre brûle lorsqu'elle a été
ie.

g chômage qui se renouvelle chaque année est en-
cause de détérioration des chaudières.

gnale aussi le relâchement de la surveillance pen-
nuit, ce qui donne aux chauffeurs la facilité de sur-
leurs soupapes, etc. La surveillance administra-
. est principalement visée, est certainement nulle
la nuit : le personnel disponible ne permet que de
sites de jour, et il est impossible d'en demander la
noins de circonstances exceptionnelles ou de soup-
ovoquant spécialement une visite.

avons exposé les causes signalées d'une façon gé-
t qui nous paraissent très-motivées. M. l'ingénieur
Le Bleu indique une autre cause d'explosion, de-
t un examen particulier. M. Le Bleu s'exprime en
ies, dans son rapport sur les sucreries du Nord :

eux parler de la nature même des eaux d'alimentation,
s les fabriques de sucre, sont toujours plus ou moins
de sirops, de solutions ammoniacales provenant de la
ation des betteraves, de chaux provenant du mode de
on et enfin de corps gras provenant du graissage des
s et entraînées par la vapeur ou par l'eau. La réaction
ibstances les unes sur les autres donne lieu à deux sortes
its :

'un, parfaitement connu, est un savon calcaire, qui
ux parois des chaudières et empêche le contact de l'eau
iétal, de sorte que celui-ci peut rougir, tout en étant
ır l'eau, mais non en contact avec elle.

es produits gazeux, dont la nature n'est pas définie, pren-
ssance dans la réaction qui s'opère.

gaz peuvent, dans certains cas, devenir détonants. C'est à
ie de cette nature qu'il faut attribuer la terrible explo-

sion arrivée, le 26 décembre 1876, à Saint-Hilaire-Cottes (Pas-de-Calais (*).

« La production des gaz détonants dans les fabriques de sucre est, d'ailleurs, reconnue et étudiée en Allemagne, ainsi que cela résulte des comptes rendus des séances de la réunion des représentants de cette branche d'industrie.

« Le *Journal des fabricants de sucre*, notamment dans les numéros du 21 février et du 11 avril 1877, a analysé les procès-verbaux de ces séances. On est encore incertain sur la nature des gaz explosifs; mais leur présence est constatée.

« Pour remédier aux deux causes d'accidents que je viens de signaler, il faudrait ou n'employer que de l'eau pure, ce qui augmenterait beaucoup la dépense de combustible, puisqu'on n'utiliserait plus la chaleur de condensation de la vapeur, ou procéder à une épuration préalable de l'eau d'alimentation avant son introduction dans les générateurs, ce qui n'est guère pratique, surtout en l'absence de procédé reconnu efficace pour une pareille épuration. »

Dans le rapport du même ingénieur en chef sur les sucreries du Pas-de-Calais, on lit l'article suivant, extrait du *Journal des fabricants de sucre* (11 avril 1877) :

« La question : — « Comment expliquer la production des gaz in« flammables dans la batterie de diffusion? » a donné lieu à de longs débats que nous résumons le plus brièvement possible, la place nous faisant défaut.

« M. Greiner, directeur de la sucrerie de Schœppenstedt, ne sait rien en dehors des deux cas d'explosion survenus chez lui (*voir l'article du 6 décembre* 1876); il prie les chimistes de donner des explications.

« Le docteur Bodenlender prend la parole: On ne peut pas donner d'explication positive. On sait que le sucre tend à se transformer en sucre interverti, sous l'influence de l'eau. Puis il donne naissance, sous de certaines conditions, à de l'acide lactique; celui-ci se décompose, par la fermentation, en hydrogène et en acide carbonique. Or on sait que l'hydrogène et l'oxygène provenant de l'air atmosphérique forment un mélange détonant. En 1873, le docteur Scheibler exposait cette théorie : il disait qu'à la fin du dégagement de gaz, c'est surtout de l'acide carbonique que

(*) Voir *Annales des mines*, 1er volume de 1878, p. 311.

recueille. La fermentation terminée, le liquide s'éclaircit
ınd on a opéré sur du jus de betterave) et on trouve une sorte
omme précipitable par l'alcool, de la mannite et du sucre de
la mannite peut être cristallisée par l'évaporation.

Le docteur Fruhling, directeur de l'École de fabrication de
nswick, appuie cette théorie, observant que la température
e à 35° et l'alcalinité du liquide sont nécessaires.

Le docteur Dehn ajoute que c'est apparemment de l'hydro-
e ou un carbure d'hydrogène qui se produit. Du reste, Schei-
admettait, en 1870, la présence de gaz des marais dans l'eau
loyée. En résumé, dit M. Dehn, le gaz hydrogène peut prove-
de la transformation de l'acide lactique, donnant, en outre, de
ide butyrique et de l'acide carbonique, et de l'action des acides
miques des jus sur l'eau en présence du fer; en effet, j'ai re-
qué souvent que le disque en tôle perforée des diffuseurs était
gé, comme s'il eût séjourné dans un acide.

M. Greiner réplique qu'il employait de l'eau ayant déjà servi
efoulait avec de l'air; l'air exerce peut-être son influence.
lauer prétend avoir eu des cas d'explosion, et seulement alors
l se servait d'air.

Le docteur Harmening a eu des explosions, même en refou-
avec de l'eau. Il pense que les gaz sont composés d'hydro-
e, de carbure d'hydrogène et aussi d'acide sulfhydrique. Il
ente à cette occasion, un appareil extracteur de gaz inventé
lui. Cet appareil enlève aussi les mousses, qui seraient la
e de la mauvaise pression (circulation difficile des jus).

On voit qu'en Allemagne, on admet la production des gaz
nants; mais qu'on en est encore aux hypothèses sur la na-
de ces gaz. »

es vues avaient déjà été exprimées lors de l'explosion
ne sucrerie à Saint-Hilaire-Cottes, où une batterie de
chaudières a été détruite. M. Le Bleu, considérant
l y avait eu brisure et non déchirure, ce qui ne permet
de supposer que l'accident soit dû à un excès momen-
de pression, car les tôles du générateur étaient d'une
lité suffisante, en conclut que les eaux ayant servi à la
ication du sucre, après leur mélange avec les huiles,
graisses, les substances ammoniacales, pouvaient don-
un produit détonant.

Nous faisons observer à cette occasion que la présence des gaz inflammables avait, en effet, été constatée dans des batteries de diffuseurs, c'est-à-dire dans le jus de betteraves soumis à une sorte de macération à froid en vases non hermétiquement clos, mais qu'il ne faudrait pas en conclure que ces jus, soumis à l'évaporation, vont produire des gaz détonants.

En effet, les jus qui s'évaporent fournissent surtout de la vapeur d'eau et, si quelque gaz inflammable s'y trouve, il sera mélangé d'une quantité de vapeur telle que l'inflammation n'aura pas lieu et que la détonation spontanée sera encore plus impossible.

M. Le Bleu admet bien que les gaz détonants n'ont été reconnus qu'en Allemagne et dans les batteries de diffuseurs, mais que cela n'est pas en contradiction avec son idée, attendu que, dans une fabrique de sucre telle que celle de Saint-Hilaire, toutes les substances sont absolument mélangées et introduites dans le puisard servant à l'alimentation des générateurs. Que ces substances se trouvent dans la batterie de diffusion ou ailleurs, elles n'en ont pas moins une tendance à se combiner d'après des lois encore complétement inconnues.

Nous ne saurions admettre une aussi grande analogie entre les chaudières et les batteries de diffuseurs. En premier lieu, les liquides du diffuseur sont froids, le gaz qui peut s'en dégager n'est accompagné que de vapeur d'eau à faible tension. Il peut être très-prédominant et s'enflammer à l'air, au contact d'un corps en ignition ; mais il diffère essentiellement du liquide des chaudières, d'abord parce que ce n'est pas le liquide même des diffuseurs qui est employé à l'alimentation ; il n'y arrive qu'accidentellement et après avoir été dénaturé. Ce liquide sort des diffuseurs pour aller dans les récipients d'évaporation. La vapeur qu'il produit, condensée ensuite, est la seule substance qu'ils envoient régulièrement aux réservoirs d'ali-

ntation. Si une autre partie des jus sucrés y arrive, c'est
le qui a pu s'introduire par les fuites des serpentins. On
trouve donc plus dans les eaux d'alimentation les ma-
res qui fermentaient plus ou moins dans le diffuseur. Si
iquide du diffuseur devait donner des gaz spontanément
onants ou seulement inflammables, ces gaz devraient se
mer dans les récipients d'évaporation au lieu de sortir
s tard, soit des vapeurs condensées, soit des jus sucrés;
n'a jamais cité d'exemple de ce fait, qui serait cepen-
it beaucoup plus vraisemblable que la production de gaz
is les jus après qu'ils ont été évaporés.

Ceci répond à l'hypothèse de la faculté qu'auraient les
uides des diffuseurs de continuer à dégager des gaz in-
nmables, même après une cuite partielle ou totale. On
ussi expliqué la production des gaz dans les générateurs
le mélange des jus sucrés avec les substances grasses
ammoniacales introduites dans les eaux d'alimentation,
réactions encore inconnues donneraient naissance à ces
. Sans pouvoir vérifier ce point, il semble que, d'après
nature des substances engagées, les gaz qui pourraient
former seraient très-peu oxygénés, c'est-à-dire peut-être
ammables, mais nullement détonants. On ne comprend
comment un gaz inflammable, mélangé d'un grand
ès de vapeur d'eau, pourrait causer l'explosion d'une
udière. Enfin, quand même le gaz serait détonant, il ne
ndrait feu qu'à la condition d'être soumis à une tempé-
ure suffisante, température qui n'existe pas dans la chau-
re; ou bien si le gaz, trouvant une issue par une fuite,
ivait s'enflammer dans les carneaux (ce qui est toujours
icile à concevoir à cause de la quantité de vapeur d'eau
it il serait accompagné), il brûlerait en un jet plus ou
ins intense, mais il ne s'enflammerait pas à l'intérieur
la chaudière et ne la ferait pas sauter.

Ces objections s'opposent à l'admission *à priori* d'une
othèse qui ne s'appuie sur aucun fait, sur aucune ex-

périence, et que l'on ne peut prendre en considération, dans l'état actuel de nos connaissances.

M. Le Bleu paraît y avoir été conduit par la difficulté d'expliquer, au moyen des causes ordinaires, l'explosion de Saint-Hilaire. Les cinq générateurs ont été détruits, trois seulement étaient en feu; ils étaient anciens, en mauvais état et surmenés; on a eu quelques raisons de soupçonner les soupapes d'avoir été calées, sans cependant pouvoir le prouver; ces circonstances suffisent à expliquer l'explosion violente de l'un des générateurs et la rupture des autres à la suite de cette explosion.

En résumé, j'ai l'honneur de proposer à la commission centrale d'émettre l'avis suivant :

Les chaudières des fabriques de sucre sont soumises aux causes d'usure et d'accident qui affectent les générateurs d'un grand nombre d'industries, causes parmi lesquelles figure notamment la présence de sels calcaires graisseux signalée à diverses reprises. Ces chaudières sont de plus soumises à des actions spéciales :

1° Leurs mauvaises conditions d'établissement : elles sont souvent choisies au meilleur marché possible ou achetées d'occasion;

2° Elles sont soumises, à cause de leur nombre insuffisant, à un chauffage beaucoup trop énergique, qui donne lieu à des coups de feu, à des fissures, à des détériorations de toutes sortes; la résistance diminue et les accidents se produisent;

3° L'exigence d'un travail rapide et continu ne permet pas d'entretenir les chaudières convenablement; les nettoyages sont trop rares et les réparations ne se font qu'à la dernière extrémité; ce chauffage trop violent est en même temps la cause d'une dépense exagérée de combustible, car la température des gaz qui abandonnent la chaudière

beaucoup trop élevée et une grande quantité de cha-
r est perdue ;

,° L'introduction des sirops, qui permet de surchauffer nétal et donne lieu à des fuites ;

,° Un personnel renouvelé à chaque campagne et néces- 'ement inférieur à celui des chauffeurs employés en per- nence. Tout le service en souffre, notamment l'usage et onne tenue des appareils de sûreté ;

,° Le défaut de surveillance ;

° Les chômages prolongés, pendant lesquels les chau- res s'oxydent et se détériorent.

,e remède à cet état de choses consiste en grande partie s l'augmentation du nombre des générateurs ; dès qu'ils seront plus surmenés, qu'ils seront arrêtés, sans incon- ient pour la marche du travail, toutes les fois qu'il fau- les nettoyer ou les réparer, on évitera le plus grand nbre des accidents. Les générateurs devront être pério- nement soumis à des visites complètes, ayant pour but reconnaître l'état des tôles, les fissures, les corrosions auront pu se produire, et de provoquer les réparations temps utile. En y joignant une surveillance spéciale des uffeurs et des précautions pendant le chômage, consis- t principalement à conserver les générateurs absolument es et secs ; en évitant, dans l'alimentation, le mélange eaux calcaires avec les eaux grasses provenant de la densation des vapeurs, on améliorerait encore la si- tion.

es mesures sont indiquées à titre de conseil, mais il ne ait pas opportun d'en faire l'objet de prescriptions ré- nentaires ; elles sont la conséquence de l'obligation gé- ale de conserver les appareils en bon état et de n'en faire un usage abusif.

NOTE

SUR

L'EMPLOI INDUSTRIEL DES GAZ

SORTANT DES FOYERS MÉTALLURGIQUES

Par M. Louis CAILLETET,
Correspondant de l'Institut, ancien élève de l'École des mines.

J'ai fait connaître à l'Académie des sciences, il y a plusieurs années déjà (*), les recherches que j'ai entreprises sur la composition des gaz recueillis dans les foyers à haute température, employés dans le travail du fer, et chauffés, soit à la houille, soit au combustible végétal.

Ces recherches ont été entreprises en me basant sur les remarquables travaux de M. H. Sainte-Claire Deville sur la dissociation, qui ont permis d'interpréter un grand nombre de phénomènes métallurgiques jusqu'alors restés inexpliqués. Ainsi que l'a montré M. Deville, il est nécessaire de refroidir brusquement les gaz au moment où ils sont recueillis dans le foyer, afin d'empêcher la combinaison de leurs éléments dissociés : à cet effet je puise les gaz au moyen d'un tube de cuivre mince, d'environ 1/2 millimètre de diamètre intérieur, qui est engagé dans une des branches d'un tube plus large, également en cuivre et recourbé en U.

Un rapide courant d'eau froide provenant d'un réservoir élevé parcourt l'espace libre laissé entre les deux tubes, et entretient l'appareil à une température d'environ 15 à 20°.

Une des extrémités du tube étroit va percer la courbure du tube en U et s'y arrête au moyen d'une soudure à l'é-

(*) Voyez Comptes-rendus, 16 avril 1866.

; son autre extrémité libre aboutit à un grand flacon rateur.

n peut, au moyen de cet appareil, rendu mobile par onction de tubes de caoutchouc, puiser les gaz dans oyers à haute température ou même dans le creuset du t-fourneau.

a composition des gaz ainsi recueillis diffère complète- t des résultats donnés par Ebelmen. Cet habile métal- ste, ignorant les phénomènes de la dissociation, aspi- lentement les gaz au moyen d'un tube, dans lequel se mbinaient leurs éléments dissociés. Dans les analyses elmen, les réactions semblent presque toujours com- es, tandis que le refroidissement brusque montre que gaz combustibles et les fumées peuvent exister en pré- e de l'oxygène à haute température.

n recueillant, au moyen de l'appareil que j'ai décrit, les sur la sole d'un four à réchauffer dans le voisinage de rille, on constate qu'ils contiennent :

Oxygène	13,15
Oxyde de carbone	3,31
Acide carbonique	1,04
Azote (par différence)	82,50
	100,00

e flacon aspirateur se remplit alors de fumées difficiles ndenser et formées de charbon extrêmement divisé, dont uleur vue par transparence est exactement complémen- e de celle de la flamme de l'oxyde de carbone. Une grande ntité de noir de fumée se dépose en outre sur les parois ube aspirateur.

es gaz sortant des fours à réchauffer sont généralement gés sous des générateurs qui produisent la vapeur né- aire au fonctionnement des machines.

ar leur contact avec les parois des fours et des chau- es, les gaz se refroidissent rapidement et ils sont com- ement éteints après un parcours de 15 à 20 mètres.

'analyse constate qu'ils sont formés de :

Oxygène.	7,65
Oxyde de carbone.	3,21
Acide carbonique.	7,42
Azote (par différence).	81,72
	100,00

La quantité d'oxygène a donc diminué de près de moitié, en brûlant non pas l'oxyde de carbone dont la proportion a peu varié, mais le charbon divisé qui se trouve en grande quantité dans l'atmosphère du four.

Le refroidissement qui amène l'extinction des gaz arrête toute réaction, et lorsque ces derniers sont rejetés par la cheminée d'appel, ils renferment encore, ainsi qu'on le voit, des quantités importantes de principes combustibles.

Il m'a semblé intéressant de rechercher s'il ne serait pas possible de tirer parti de ces gaz regardés comme inutiles et les expériences que j'ai faites récemment à mes usines de Saint-Marc (Côte-d'Or) m'ont démontré qu'il était facile de les rallumer en les faisant passer sur un foyer en même temps qu'on ralentit leur mouvement.

La disposition employée est des plus simples. En sortant des carneaux de la chaudière, les gaz s'allument en passant au-dessus d'une petite grille sur laquelle on brûle des escarbilles, et débouchent ensuite dans un four d'environ 4 mètres carrés de section verticale, où ils perdent une grande partie de leur vitesse, et sont rejetés ensuite par une cheminée de 20 mètres de hauteur.

La chaleur développée peut arriver au rouge clair et être employée à la cuisson des briques, à la fabrication de la chaux, ou au recuisage de la tôle et du fil de fer.

En résumé, on peut conclure de mes expériences :

Que les gaz sortant des foyers métallurgiques contiennent encore, même après leur passage sous les génér
vapeur, une importante quantité de principes comb
et qu'à l'aide des procédés que j'ai décrits il est faci
allumer de nouveau et de les brûler presque complé

BULLETIN.

'ATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA RUSSIE EN 1876.

La Russie possède d'immenses richesses minérales, dont l'exploitation est susceptible d'un très-grand développement, et ne anque pas, dès maintenant, d'une certaine importance. L'Oural l'Altaï, prolongés par les montagnes de Nertchinsk, renferment s dépôts métallifères où se rencontrent en grande abondance r, le platine, l'argent, le cuivre, le plomb et le fer. Les alluvions rifères de l'Oural et de la Sibérie, les magnifiques gisements de nerai de cuivre de l'Oural, du Caucase, des steppes Kirghises et la Finlande, les riches mines de zinc du royaume de Pologne, vastes dépôts de sel gemme du gouvernement de Perm, les iombrables lacs salés, les célèbres sources de pétrole du Caucase, enfin les bassins houillers peu nombreux, mais d'une grande ·ndue, de la région du Don, du royaume de Pologne, de la sie centrale, etc., placent la Russie parmi les pays les mieux urvus de produits minéraux.

.'exploitation des mines y est toutefois entravée par la faible isité de la population et par le manque de voies de transport. s ce dernier point de vue, la Russie a encore beaucoup à créer, son réseau de chemin de fer ne dépasse guère 20.000 kilotres (19.281 verstes, sans compter la Finlande).

.e gouvernement attache d'ailleurs, avec raison, une grande portance à la diffusion des connaissances relatives à l'art des nes et à la métallurgie, et emploie un grand nombre d'ingéurs, fort bien rétribués, auxquels il confie fréquemment des sions d'étude en Europe et en Amérique.

es ingénieurs des mines font, aux frais de l'État, des exploras scientifiques et des travaux de recherche dans le territoire l'Amour, dans l'île Sakhaline et dans les vastes régions de l'A- centrale, nouvellement conquises, telles que le Khanat de kand, la province de Kouldja, le district de Samarcand et le itoire des Turcomans.

École des mines de Saint-Pétersbourg, fondée en 1773, réorisée en 1865, possède un musée minéralogique célèbre, un

laboratoire et une bibliothèque. Elle a été fréquentée, en 1876-1877, par 335 étudiants, et ne compte pas moins de 26 professeurs. Quatre écoles secondaires, destinées à former des contre-maîtres, existent à Ékatérinbourg, à Barnaoul, à Lisitschansk, et (depuis 1877) sur la houillère de Korsoune. Il y a, en outre, des écoles techniques dans chaque district minier; en 1876, ces écoles ont été fréquentées par 657 élèves.

On doit s'attendre, d'après cela, à voir l'exploitation des mines se développer en Russie, autant que les débouchés des produits et l'accroissement de la population ouvrière le comporteront.

Le nombre total des ouvriers employés aux travaux des mines, aux lavages d'or, aux usines métallurgiques et aux salines, était estimé, pour 1876, à environ 300.000.

Les renseignements statistiques suivants sont un résumé abrégé des données publiées annuellement par l'administration des mines, et qui comprennent, depuis 1862 seulement, la Finlande et la Pologne. La conversion des mesures russes en mesures métriques a été établie d'après les bases ci-dessous :

	kilogr.
Le *poud*.	= 16,3808
La *livre*.	= 0,4095
	grammes.
Le *zolotnik*.	= 4,265
Le *grain*.	= 0,041

Production des gisements métallifères.

Production de l'or. — L'or constitue la principale richesse minérale de la Russie. On le tire surtout des gouvernements ou territoires de Iakoutsk, Iénisséisk et Irkoutsk, Transbaïkal, Perm, Amour, Orenbourg et Tomsk. En 1876, la quantité des sables aurifères et du minerai lavé a atteint 16.749.260 tonnes, et celle de l'or obtenu, 33.687 kilog., valant 116 millions de francs. Le nombre des exploitations a été de 1130.

L'extraction de l'or, en Russie, n'a commencé qu'en 1753 ; elle a fait depuis cette époque des progrès à peu près constants, et a livré une quantité totale d'or, évaluée à 1.100.978 kilog., représentant la valeur énorme de 3 milliards 792 millions.

En 1867, la production de l'or montait à 27.053 kilog.

L'agio très-élevé de l'or monnayé, la baisse considérable du cours du change, l'abolition de l'impôt proportionnel sur l'or extrait des concessions, et le passage définitif des mines de l'État aux mains des particuliers ont favorisé d'une manière extraordinaire la production, à partir de 1877, année où elle s'est élevée

852 kilog., valant environ 160 millions. On doit donc s'at-
e à la voir se développer encore davantage par la suite.

tine. — Bien que le platine soit associé à l'or, dans un grand re de ses gisements, la production de ce métal n'a pas fait êmes progrès. On a lavé 170.070 tonnes de sables platinifères. 76, dans 5 exploitations; et la quantité totale de platine brut ue, soit des sables, soit des mines (qui sont toutes situées a partie septentrionale du gouvernement de Perm), a été de kilog. La même quantité s'était élevée à 1.791 tonnes, dix aparavant.

najeure partie du platine est exportée à l'étranger, à l'état brut.

ent et plomb. — La production des mines de plomb argen- est aussi stationnaire, pour ne pas dire en décroissance.

1876, 24 mines ont produit 34.375 tonnes de minerai. On a 35.206 tonnes dans les usines, au nombre de 7, comprenant urneaux; et on en a retiré 11.208 kilog. d'argent et 1.169 s de plomb.

1867, les mines avaient produit 42.450 tonnes de minerais; usines, 18.140 kilog. d'argent et 1.737 tonnes de plomb, nant de la fusion de 45.507 tonnes.

mi les usines, 5 sont établies dans le gouvernement de Tomsk; ux autres, sur les territoires de Transbaïkal et de Terek.

vre. — La période de 1870 à 1875 a été marquée par une issance sensible de la production des mines de cuivre; tou- une reprise importante s'est manifestée en 1876.

dant cette dernière année, les mines en activité, au nombre , ont fourni 103.985 tonnes de minerai; 23 usines, compre- 233 fourneaux, ont fondu 88.465 tonnes, d'où il a été tiré tonnes de lingots et 383 tonnes de cuivre en feuilles.

1867, la production était un peu plus élevée et consistait en tonnes de lingots et 300 tonnes de cuivre en feuilles.

usines de l'Oural sont de beaucoup les plus importantes; trouve également dans le Caucase, dans les steppes Kir- et en Finlande. Une usine a été créée en 1876, dans la méridionale.

c. — Les usines à zinc se trouvent en Pologne, dans le gou- ment de Petrokov. On n'en compte d'ailleurs que 3, dans elles on a fondu 43.457 tonnes de minerai, ayant produit tonnes de zinc.

quantité de minerai extraite des mines (au nombre de 6) de 61.376 tonnes, en diminution par rapport aux quatre an- précédentes.

Étain. — On ne compte, en Russie, qu'une seule mine d'étain, nommé *Pitkaranda*, dans le gouvernement de Viborg. Cette mine, d'une grande richesse autrefois, est aujourd'hui épuisée. On n'en a plus tiré, en 1875, que 4 tonnes de minerai à peine; et rien en 1876.

Cobalt. — Une mine de cobalt, située au Caucase, paraît à peu près dans le même cas (7 ½ tonnes, en 1876).

Fer chrômé. — La production du fer chrômé avait pris une réelle importance en 1870, année où elle se chiffrait par 9.840 tonnes tirées de 9 mines. Elle a décliné ensuite, et est tombée brusquement, en 1876, à 954 tonnes, avec 4 mines en activité.

Nickel. — Dans la même année, on a extrait 173 tonnes de minerai de nickel; deux usines situées dans l'Oural ont produit ensemble 4.067 kilog. de nickel.

Graphite. — 116 tonnes de graphite ont été tirées de 3 mines exploitées sur les territoires de Semipalatinsk et de Perm.

Production du fer.

Minerais de fer. — La production des minerais de fer s'est beaucoup développée depuis une dizaine d'années; elle a augmenté de 50 p. 100 depuis 1868. En 1876, 1.311 exploitations ont été en activité, et n'ont pas fourni moins de 1.012.467 tonnes de minerai, généralement riche et pur, rendant moyennement 45 p. 100 à la fusion.

L'industrie du fer a son siége principal dans l'Oural, et ne manque pas d'importance dans la Russie centrale, en Pologne ni en Finlande; il existe même des exploitations et des usines en Sibérie.

Fonte, fer et acier.—La production de la fonte a été la suivante:

	tonnes.
Fonte au bois.	425.341
— au coke.	16.751
Total.	442.092

On comptait 282 hauts fourneaux, répartis entre 155 usines.

En 1867, la production s'élevait seulement à 287.867 tonnes.

— Les progrès ont été plus sensibles encore pour le fer et pour l'acier, dont il a été fabriqué :

	Fer en barres, en verges, fers spéciaux et tôles. — tonnes.	Acier forgé et fondu. — tonnes.
En 1867.	187.905	6.274
En 1876.	293.057	17.938

es de fer ou d'acier, au nombre de 207, comprennent
puddler, 760 foyers d'affinage, 861 feux de forge et
dans.

e gouvernement de Perm qu'a lieu la principale pro-
fonte et du fer. Il n'en est pas de même pour l'acier;
moitié a été livré par deux usines situées dans le
t de Saint-Pétersbourg.

Production des combustibles minéraux.

uthracite, lignite. — La production des combustibles
quadruplé, de 1867 à 1876, passant de 436.178 à
nes. Cette dernière quantité se compose de :

	tonnes.
ouille.	1.249.856
nthracite.	545.761
gnite et schiste bitumineux.	29.341
Total.	1.824.868

ont contribué à la production, savoir :

	tonnes.
onetz.	958.136
oyaume de Pologne.	458,761
ussie centrale.	339.408
iev-Elisabethgrad.	29.837
ural.	17.639
teppes Kirghizes.	14 311
urkestan.	5.729
aucase.	3.466
ouznetzk.	4.838
akhaline.	2 004
sthonie.	49
Total.	1.824.868

e provient presque exclusivement du bassin de Do-
te et les schistes bitumineux, du bassin de Kiev-Éli-

des houillères a été de 640, en 1876; il ne s'élevait
.869.

La production du pétrole s'est proportionnellement
ncore davantage; de 16.382 tonnes, en 1867, elle s'est
061 tonnes en 1875, année à laquelle se rapportent
renseignements. Le pétrole a été extrait de 1032 puits
de 255 puits artésiens.

ement de Bakou a fourni un peu plus des trois quarts
ion (102.758 tonnes).

Production du sel.

La production du sel est stationnaire ; elle a été de 726.340 tonnes, en 1867 ; et de 697.135 tonnes, en 1876. Les variations sont très-notables, d'une année à la suivante. Ainsi, en 1875, il n'a été produit que 623.059 tonnes, savoir :

	tonnes.
Sel gemme.	65.705
Sel obtenu par évaporation.	237.629
Sel des lacs salés.	319.725

Les lacs, dont le produit forme la moitié de la production, sont très-disséminés et très-nombreux. Les principaux sont dans la Tauride et dans le pays d'Astrakhan, où le sel gemme se rencontre aussi en abondance.

On extrait le sel par évaporation, principalement dans le gouvernement de Perm.

Des sondages ont fait découvrir récemment d'immenses gisements de sel dans les gouvernements de Kharkow et d'Ékaterinoslaw.

(*Extrait des* Tableaux statistiques de l'industrie des mines en Russie, de M. Skalkovsky, secrétaire du comité scientifique des mines, à Saint-Pétersbourg, *par* M. O. Keller, *ingénieur des mines.*)

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUTRICHE EN 1876.

Les *Annales des mines* ont publié, dans le Bulletin de la 6e livraison des années 1876 et 1877, la statistique minière de l'Autriche en 1874 et 1875 d'après le *Statistiches Jahrbuch des k. k. Ackerbau Ministerium's*. La statistique officielle de 1877 n'est pas encore parvenue à la Bibliothèque de l'École des mines de Paris; mais nous trouvons dans l'*Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen* (années 1877 et 1878) un résumé de cette statistique qui nous permet de ne pas différer davantage la publication des documents les plus importants. Un travail récent de M. Wilhelm von Lindheim, intitulé *Die Production der Eisenwerke in Oesterreich und der Bedarf der Oesterreich-Ungarn Eisenbahnen*,

ne, 1878), fournit sur la fabrication de la fonte, du fer et de r en Autriche-Hongrie, des renseignements nombreux aux- nous avons eu recours pour compléter ceux qui se trouvent le *Statistiches Jahrbuch*.

cart entre la valeur nominale (2f,50) et la valeur effective du autrichien papier, s'est encore augmenté en 1876. La valeur nne effective qui était de 2f,35 en 1874 et de 2f,237 en 1875, mbée, en 1876, à 2f,08, comme il résulte du tableau suivant é au *Journal officiel* :

	francs.
1er janvier	2,25
1er février	2,18
1er mars	2,18
1er avril	2,14
1er mai	2,08
1er juin	2,08
1er juillet	1,98
1er août	2,02
1er septembre	2,06
1er octobre	2,01
1er novembre	2,01
1er décembre	1,98
Moyenne	2,080

ns ces conditions, il nous a paru que le meilleur parti à ire était de conserver tous les prix en florins. En doublant ement ces prix, on obtiendra, avec une approximation géné- ent suffisante pour l'année 1876, les vraies valeurs exprimées ancs.

I. — MINES.

tableau n° 1 donne la production des différentes mines de ire d'Autriche (à l'exclusion de la Hongrie) et la valeur des its, comparées à celles de l'année précédente :

Tableau I. — Production des mines en 1876.

NATURE des matières extraites.	POIDS (tonnes).	DIFFÉRENCE de poids par rapport à 1875		VALEUR totale (florins).	VALEUR par tonne (florins)	
		en plus.	en moins.		en 1876.	en 1875.
Houille	4.934.335	384.712	»	18.448.625	3,74	4,10
Lignite	6.983.382	82.123	»	14.726.600	2,12	2,25
Graphite	12.717	»	7.590	513.345	40,36	22,20
Asphalte	127	»	97	1.574	13,06	11,30
Huiles minérales	1.064	450	»	55.972	52,01	111,10
Minerai de fer	534.965	»	150.016	2.023.835	3,84	3,95
— de manganèse	6.782	»	910	74.210	10,98	12,30
— de cuivre	4.561	»	990	252.220	55,30	51,30
— de plomb	7.662	774	»	1.099.272	143,45	147,00
— d'argent	8.467	309	»	2.479.963	292,90	296,00
— d'or	175	64	»	12.282	70,17	105,20
— de mercure	31.945	»	857	1.096.585	34,42	39,00
— de zinc	26.457	729	»	447.912	16,93	15,60
— d'étain	1.172	»	852	»	»	»
— de bismuth	3,5	»	1,5	510	145,50	»
— de nickel et de cobalt	97	»	15	20.854	215,05	120,00
— d'antimoine	45	»	376	6.373	141,60	118,55
— d'arsenic	281	270	»	4.063	14,46	10,18
— d'urane	7	1	»	44.719	6.388,50	7.332,70
— de chrome	30	29,9	»	2.196	73,20	»
— de soufre	9.842	»	2.701	106.949	10,85	9,00
Schistes vitrioliques et alunifères	113.463	»	10.778	78.047	0,69	0,65

Ce tableau montre que l'ensemble de la production n'a pas subi de bien grandes variations, mais que les prix par tonne ont éprouvé, pour la plupart, une diminution notable. Aussi la valeur totale des produits a-t-elle été

	florins.
En 1875	42.845.990
En 1876	41.497.235

ce qui, traduit en francs, au cours moyen de chaque année, donne :

	francs.
En 1875	95.869.904
En 1876	86.314.248
La différence est de	9.555.656 = 10 p. 100 environ.

Le nombre total des ouvriers employés dans les mines est de 83.581 à 82.789. Le nombre d'ouvriers employés dans les de houille, de lignite et de fer était

	En 1875.	En 1876.
Mines de houille	35.274	36.369
— de lignite	26.625	26.270
— de fer	7.629	5.671

production de la houille se répartit entre les diverses pro- de la façon suivante :

Bohême	57,21
Silésie	25,26
Moravie	9,63
Galicie	6,84
Autres provinces	0,86
	100,00

Bohême a contribué pour 60,7 p. 100 à l'augmentation de la ction, la Silésie pour 31,6 p. 100, et la Galicie pour 6,4 p. 100. production du lignite se répartit ainsi qu'il suit :

Bohême	69,24
Styrie	20,97
Haute Autriche	4,60
Carniole	1,78
Moravie	1,46
Autres provinces	1,60
	100,00

Bohême a contribué pour 87,03 p. 100 à l'accroissement de la ction des lignites, la Haute-Autriche pour 10,87 p. 100, et avie pour 2,09.

part des lignites dans la production totale des combustibles aux qui était, en 1874, de 59 p. 100 et en 1875 de 60,9 p. 100, scendue en 1875 à 50 p. 100. Ce résultat provient de ce que issement de la production houillère s'est trouvé porté de tonnes (1874-75) à 384.712 tonnes (1875-76) tandis que issement de production des lignites est descendu de 6 tonnes (1874-75) à 82.123 (1875-76).

II. — USINES.

ableau n° 2 donne, pour chaque substance, le poids et la des produits comparés à ceux de l'année 1875.

TABLEAU II. — Production des usines en 1876.

NATURE des matières produites.	POIDS (tonnes).	DIFFÉRENCE de poids par rapport à 1875 — en plus.	DIFFÉRENCE de poids par rapport à 1875 — en moins.	VALEUR totale des produits (florins).	VALEUR de la tonne (florins) — en 1876.	VALEUR de la tonne (florins) — en 1875.
Fonte de moulage.	232.872	»	29.401	12.055.419	51	56
Fonte d'affinage. .	40.173	»	1.012	3.104.192	76	80
Cuivre.	442	48	»	427.522	971	960
Plomb.	4.291	157	»	1.115.033	259	255
Litharge.	3.237	261	»	747.827	231	229
Argent.	25.166	»	0,2	2.355.276	93.589	91.844
Or.	0,0136	»	0,0004	17.388	1.278.529	1.058.280
Mercure.	375,352	5,352	»	1.092.029	2.912	4.188
Zinc.	3.979	1.039	»	949.101	241	233
Etain.	207	47	»	196.975	951	979
Nickel.	22	»	0,2	34.346	1.661	2.694
Bismuth.	0,085	»	0,08	612	7.200	»
Antimoine.	145	70	»	52.130	359	393
Arsenic.	27	22	»	6.716	248	255
Soufre.	347	»	599	34.329	97	87
Jaune d'urane . . .	4,6	»	»	95.738	20.812	21.464
Alun.	1.930	211	»	164.302	85	89
Sulfate de fer. . . .	1.465	25	»	44.894	30	31
Couleurs minérales.	1.368	1.359	»	43.325	32	30

La valeur totale des produits est tombée de 25.166.421 florins (1875) à 22,537.154, ou, en francs, au cours moyen des deux années: de 56.121.118 francs à 46.887.280. C'est un abaissement de 16 p. 100, portant principalement sur la fonte d'affinage. De 1874 à 1875, on observait déjà une diminution analogue.

Le nombre des ouvriers employés à la fabrication de la fonte est tombé de 8.691 en 1875 à 7.661 en 1876; celui des ouvriers employés dans les autres usines à métaux est tombé de 1.747 à 1.627. Le nombre total des ouvriers est donc descendu de 10.438 à 9.318.

La production minérale totale, c'est-à-dire la somme des valeurs des produits miniers et métallurgiques, déduction faite de la valeur des minerais traités par les usines, se répartit de la façon suivante entre les provinces de l'empire:

	FLORINS.	PROPORTION p. 100.
Bohême.	25.520.482	44.85
Styrie.	11.167.926	19,63
Silesie.	5.683.704	9,99
Moravie.	4.223.411	7,42
Carinthie.	3.522.205	6,19
Carniole.	2.053.050	3,61
Galicie.	1.916.360	3,37
Tyrol.	743.294	1,31
Haute Autriche.	731 242	1,28
Basse Autriche.	648.841	1,14
Salzbourg.	341.681	0.60
Istrie.	213.655	0,38
Bukowine.	101 905	0.18
Dalmatie.	25.946	0,04
Görz et Gradisca.	225	0,0004
Vorarlberg.	90	0,00016
Total.	56.893.313	99,99056

… ce qui concerne spécialement la production de la fonte, voici …uelle façon elle se répartit pour 1876 entre les diverses pro…es :

	TONNES.	PART proportionnelle.
Styrie.	116,594	42,70
Carinthie.	44.684	16,36
Bohême.	43.197	15,82
Moravie.	26.764	9,80
Silésie.	20.739	7,60
Basse Autriche.	8.772	3,21
Carniole.	3.930	1,44
Tyrol.	3.249	1,19
Galicie.	3.057	1,12
Salzbourg.	1.750	0,64
Bukowine.	342	0,12

…a production de la Silésie s'est augmentée de 1,15 p. 100. Celle …autres provinces a diminué dans les proportions suivantes :

	p. 100.
Bukowine.	58,00
Basse Autriche.	30,00
Salzbourg.	25,63
Moravie.	20,50
Galicie.	19,96
Bohême.	16,86
Tyrol.	11,70
Carniole.	10,83
Carinthie.	4,98
Styrie.	1,00

La comparaison de ces chiffres démontre que les provinces des Alpes, dans lesquelles on fabrique des produits de qualité supérieure, sont aussi celles qui sont le moins atteintes par la crise métallurgique.

Les renseignements publiés chaque année dans le *Statistiches Jahrbuch* s'appliquent exclusivement à l'Autriche proprement dite, Ceux qui suivent, et qui sont empruntés à M. de Lindheim, comprennent l'Autriche-Hongrie tout entière.

Production de la fonte en 1876.

Autriche	273.041
Hongrie	127.379
Total	400.420

La fabrication de la fonte souffre de la crise métallurgique, mais à un degré moindre que dans d'autres pays. Ce fait provient de ce que, malgré le bas prix et la qualité supérieure des minerais qu'on rencontre dans les Alpes et dans quelques parties de la Hongrie, les provinces ainsi favorisées se sont trouvées retenues en 1872-73 par l'impossibilité de se procurer le combustible nécessaire, obligées qu'elles étaient par leur situation économique de se contenter du charbon de bois, dont la préparation ne pouvait prendre une extension bien rapide.

Mouvement des fontes en Autriche-Hongrie.

	tonnes.
Production	400.420
Importation	38.031
Exportation	7.317

On déduit de là la consommation intérieure, qui se trouve égale à 431.134 tonnes.

Le chiffre élevé de l'importation tient surtout à ce que les fontes du pays reviennent à un prix trop élevé pour les usages communs, et se trouvent réservées en grande partie pour la fabrication des produits affinés de qualité supérieure, à laquelle d'ailleurs elles conviennent parfaitement. Les exportations de fonte manganésées carinthiennes en Angleterre et en France tendent à se développer tous les jours.

Produits d'affinage.

Le tableau suivant donne, pour l'Autriche proprement dite, la production des fers et aciers en 1876 :

	tonnes.	
Fers en barres.	78.046	Total pour le fer 121.725.
Rails en fer.	12.088	
Essieux, bandages et pièces forgées.	3.491	
Tôles de fer.	23.366	
Fers blancs et galvanisés.	1.298	
Accessoires de rails.	3.016	
Rails en aciers Bessemer et Martin. . .	40.714	Total pour l'acier 72.008.
Acier puddlé.	3.684	
Aciers divers.	27.610	
Total.	193.743	

s seules usines de Hongrie qui produisent du fer et de l'acier les établissements de la Staatsbahn, dans le Banat, et ceux de t hongrois à Salgó Tarján. La production totale est estimée à oo tonnes. Voici la production des usines du Banat :

	tonnes.	
Rails en fer.	10.035	Total pour le fer. 17.491.
Accessoires de rails.	954	
Fers en barres.	5.602	
Rails d'acier (Bessemer et Martin). . .	12.861	Total pour l'acier 12.561.
Total.	30.052	

ous emprunterons encore à M. de Lindheim quelques chiffres tifs aux chemins de fer d'Autriche-Hongrie. La longueur des es exploitées en 1876 était de 17.769 kilomètres, dont 1.574 ouble voie. La longueur totale des rails posés atteignait 61.691 mètres, sur lesquels il y avait 10.491.510 mètres d'acier. ant la seule année 1876, il a été posé 184.897 mètres de rails er et 2.841.393 mètres de rails d'acier. Le poids des rails posés 876 et de leurs accessoires est estimé à 92.283 tonnes, tandis la production correspondante ne dépasse guère 70.000 tonnes. été employé dans la même année :

	tonnes.
Pour roues, essieux et bandages.	4.390
Pour matériaux de ponts en fer.	9.168
Total.	13.558

l'on tient compte enfin qu'il a été mis en circulation 99 locolves et 2.277 wagons, on a la mesure de l'importance du débché offert par les chemins de fer à l'industrie métallurgique. our terminer ce qui concerne les usines autrichiennes, nous nerons le tableau du nombre des principaux appareils métalliques existant en 1876 :

Hauts-fourneaux à fer	170
Hauts-fourneaux pour métaux autres que le fer	32
Demi-hauts-fourneaux	16
Fours à manche	17
Bas foyers et foyers d'affinage	16
Fours de coupellation	11
Fours de sublimation	12
Fours de distillation	65
Fours de grillage	705
Fours à réverbère	139
Appareils Bessemer	15
Cubilots	48

III. — SALINES.

Le résumé statistique publié dans l'*Oesterreichische Zeitschrift* ne donne pas la production des salines. Il apprend seulement que le nombre d'ouvriers est resté à peu près le même (8.808 au lieu de 8.805) et qu'on a employé, dans les usines à sel, 46 chaudières d'évaporation et 174 chambres de dessiccation.

IV. — ACCIDENTS.

Le nombre total des accidents dans les exploitations minières a été de 365, dont 192 ont été suivis de mort.

NATURE des mines.	ACCIDENTS suivis de mort.		ACCIDENTS graves.	
	Nombre total.	Nombre pour 1.000 ouvriers.	Nombre total.	Nombre pour 1.000 ouvriers.
Mines de houille	108	3,27	83	2,52
— de lignite	59	2,43	42	1,78
— de fer	3	0,55	8	1,46
— diverses	20	1,59	38	2,71
Salines	2	1,19	7	4,16
	192 (total)	2,49 (moyenne)	178 (total)	2,25 (moyenne)

D'après l'endroit où ils se sont produits, les accidents se classent ainsi qu'il suit :

NATURE des mines.	ACCIDENTS suivis de mort.		ACCIDENTS graves.	
	Nombre total.	Nombre pour 1.000 ouvriers.	Nombre total.	Nombre pour 1.000 ouvriers.
Puits verticaux.	45	0,58	26	0,34
Puits et plans inclinés.	10	0,13	8	0,10
Galeries.	36	0,47	53	0,69
Tailles.	62	0,80	66	0,86
Au jour.	39	0,51	20	0,26
Totaux.	192	2,49	173	2,25

Il y a eu un accident mortel pour une exploitation de

	tonnes.
Dans les mines de houille.	45.688
— de lignite	117.515
— de fer.	184.988
— diverses.	11.245
Dans les salines.	28.234
Moyenne.	66.167

La moyenne, pour l'année précédente, était de 60.936 tonnes.

V. — CAISSES DE SECOURS MUTUELS.

Il y avait en Autriche, à la fin de 1876, 374 caisses de secours mutuels, y compris celles des salines. Leur capital était de 7.230.405 florins. Le nombre des sociétaires était de 89.640 et celui des bienfaiteurs était de 19.184. Il y avait 24.975 personnes secourues.

Si l'on fait abstraction des salines, on trouve 86.401 sociétaires, 19.078 bienfaiteurs; les familles des associés comprennent 121.792 femmes et enfants. Le nombre des personnes secourues en 1876 a été de 23.839, savoir :

Hommes.	6.846
Veuves.	8.868
Orphelins.	6.485

La contribution des sociétaires en 1876 a été de 951.954 florins; celle des bienfaiteurs de 80.253 florins; celle des propriétaires des établissements de 253.766 florins; total 1.285.973 florins. Les secours distribués se classent ainsi :

	florins.
Secours permanents.	800.240
— temporaires.	251.874
Secours médicaux, remèdes.	351.190
Total.	1.403.304
Total pour 1875.	1.323.471

Le nombre des sociétaires et des bienfaiteurs surpasse celui des travailleurs employés dans les mines et usines. Ce fait provient de ce que beaucoup de caisses de secours sont ouvertes aux ouvriers des usines de raffinage ou des entreprises qui se rattachent aux travaux de mine sans y être directement comprises.

Extrait par M. H. L. Lecornu, *ingénieur des mines, de l'*Oesterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen (années 1877-1878) *et de la publication intitulée* : Die production der Eisenwerke in Oesterreich, etc., von W. von Lindheim. (Vienne, 1878).

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DU JAPON EN 1875.

D'après des renseignements extraits d'une publication de M. C. W. Gümbel, conseiller général des mines d'Autriche, par l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg-und Hüttenwesen* (1877, page 557), la production des mines du Japon en 1875 avait été la suivante:

	QUANTITÉS.		VALEUR EN FLORINS.
Or.	376	kilos.	428.750
Argent.	9.740	id.	668.850
Cuivre.	3.048	tonnes métriques.	1.543.500
Fer.	5.680	id.	275.250
Plomb.	188	id.	36.486
Etain.	76	id.	5.145
Charbon.	396.250	id.	3.244.250
Pétrole.	10.350	hectolitres.	39.445
	Valeur totale. . .		6.323.500

D'autre part, la publication intitulée : *le Japon à l'Exposition universelle de* 1878, faite par les soins de la Commission impériale japonaise, donne le tableau que nous reproduisons ci-après :

	QUANTITÉS.		VALEUR EN YEN.
Or.	678	kilos.	250.000
Argent.	9.740	id.	390.000
Cuivre.	3.000	tonnes anglaises.	900.000
Fer.	5.000	id.	150.000
Plomb.	185	id.	21.275
Etain.	75	id.	3.000
Charbon.	390.000	id.	1.950.000
Pétrole.	1.035.000	litres.	23.000
	Total.		3.687.275

Il est facile de s'assurer que le poids donné pour l'or renferme ne faute d'impression (673 mis pour 376), et qu'après cette cor- ection, les premières colonnes deviennent identiques dans les eux listes (1 tonne anglaise = 1.016 kilos).

La concordance est beaucoup moins satisfaisante pour les va- urs. Le yen d'or pèse $1^{g},6666793$ au titre de $\frac{900}{1.000}$. Il contient donc ès-sensiblement $1^{g},50$ d'or et vaut par suite $5^{f},16$ (*). La valeur tale de la production serait donc, d'après le tableau fourni par Commission, de 19.026.939 francs, ce qui, comparé au tableau M. Gümbel, donnerait, pour la valeur du florin autrichien, le iffre complétement inadmissible de $3^{f},08$. Si l'on s'en tient aux iffres de la Commission, on peut former ce nouveau tableau :

	VALEUR TOTALE.	VALEUR DE L'UNITÉ.	
	francs.	francs.	
Or.	1.290.000	3·431	le kilog.
Argent	2.012.400	206	id.
Cuivre.	4.644.000	1 525	la tonne.
Fer.	774.000	152	id.
Plomb.	109.779	583	id.
Etain.	15.480	203	id.
Charbon.	10.062.000	25	id.
Pétrole.	118.680	11	l'hectolitre.
Total. . . .	19.026.939		

Le prix attribué à la tonne d'étain est tellement bas, qu'il y a

(*) Nous devons faire observer que les *Annales* ont publié dans le Bulletin de 1876 ge 634) une statistique de la production du Japon en 1874. Les quantités diffèrent s ou moins de celles que nous donnons ici, tandis que les valeurs sont expri- es, *en dollars*, par des chiffres *identiques* à ceux qui fournissent ici les valeurs en Il est vrai que le dollar diffère fort peu du yen. Néanmoins ce rapprochement it à montrer que les valeurs sont purement approximative.

lieu de soupçonner à cet égard quelque erreur : la production d'étain doit évidemment être réduite à 7ᵗ,5, comme pour 1874. Les autres chiffres n'ont rien d'anormal. Le rapport entre la valeur de l'or et celle de l'argent est égal à 16,60.

Le nombre des mines en exploitation s'élève à 515, savoir :

Mines d'or	29
Mines d'argent	46
Mines de cuivre	91
Mines de fer	53
Mines de plomb	8
Mines d'étain	3
Mines d'antimoine	2
Mines de charbon	186
Mines de pétrole	67
Mines de soufre	13
Mines de sulfate de fer	8
Mines d'alun	7
Total	515

Les principaux hauts-fourneaux se trouvent dans la province de Rikuchiu. Ils ont 21 shaku (6ᵐ,36) de hauteur. Chacun d'eux peut fondre 3ᵗ,75 à 4ᵗ,50 de minerai, rendant environ 50 p. 100 de fonte. La consommation de combustible est de 6 tonnes de charbon de bois par jour ; on n'ajoute aucun fondant. Le minerai est principalement du minerai magnétique contenant 62 à 65 p. 100 de fer.

On trouve, sur le littoral de certaines provinces, une poudre métallifère renfermant 54 à 60 p. 100 de fer pur, que l'on passe dans les mêmes hauts-fourneaux.

La province de Rikuchiu possède de grandes fonderies composées de 4 hauts-fourneaux, de 12 fours à puddler, de laminoirs, de marteaux-pilons, etc. Leur installation a couté plus de 4 millions de francs.

Pour les autres renseignements relatifs à l'industrie minérale du Japon, nous sommes obligé de renvoyer à l'intéressante publication de la Commission impériale.

Extrait par M. Lecornu, *ingénieur des mines, de l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen (1877) *et de la publication intitulée :* le Japon à l'Exposition universelle de 1878 (2ᵉ partie).

NOTE STATISTIQUE SUR L'INDUSTRIE DU FER AUX ÉTATS-UNIS EN 1876

Par M. G. ROLLAND, ingénieur des mines.

Il y a 20 ans encore, les Etats-Unis étaient une colonie commerciale de l'Angleterre. Après la guerre de sécession, à l'abri des tarifs protecteurs de 1861, les Américains du Nord, tirant parti des ressources immenses dont la nature avait doté leur pays et déployant un génie d'entreprise tout à fait remarquable, créèrent une industrie indigène et conquirent, on peut le dire, une seconde indépendance. Il y eut alors un entraînement général vers les affaires, puis une ère de prospérité inouïe. Les salaires atteignirent des taux inconnus. Les exemples de bénéfices faciles et rapides devinrent de plus en plus nombreux. Malheureusement l'esprit de spéculation s'empara peu à peu de toute la nation. L'industrie prit un développement anormal. Les ressorts de la fortune publique furent tendus à l'extrême, jusqu'à rompre. En 1873, à la suite de quelques faillites retentissantes, éclatait aux États-Unis une catastrophe financière qui eut son contre-coup jusqu'en Europe.

Plus qu'aucune autre, l'industrie du fer avait été forcée et eut à souffrir de la crise. Des mines avaient été ouvertes, des usines construites pour alimenter des travaux de chemins de fer ou autres, entrepris dans des vues de spéculation. Aussi la capacité de production était-elle devenue bien supérieure aux besoins réels. Après 1873, la plupart des commandes s'arrêtèrent; une concurrence, bientôt acharnée, s'éleva entre les producteurs indigènes. En 1876, époque à laquelle je visitai les États-Unis, plus de la moitié des hauts-fourneaux étaient éteints; des stocks considérables de fers de toutes sortes encombraient les marchés; les cours n'étaient plus rémunérateurs pour une grande partie des usines. Seule, la fabrication Bessemer se soutenait, grâce, d'une part, à la faveur dont jouissaient ses produits, d'autre part, aux progrès des installations américaines et aux mécanismes perfectionnés introduits dans les usines des États-Unis.

Leur production excédant leur consommation, les Etats-Unis doivent tendre à exporter. Pour les fers bruts ou peu travaillés, ils ne sauraient entrer en concurrence sérieuse avec l'Angleterre qui, disposant de ressources naturelles également abondantes et d'un aussi bon outillage, possède plus de capitaux, paye des sa-

laires bien inférieurs et à des frais de transport beaucoup moindres. Ils ne peuvent viser qu'aux marchés du Canada, du Mexique, de l'Amérique centrale et des Indes occidentales.

Pour les produits manufacturiers, au contraire, les Etats-Unis sont arrivés à exporter sur des marchés où l'Angleterre avait l'avantage du fret, et cela malgré un prix généralement plus élevé, grâce à la qualité. Leur succès, dans la fabrication de certains produits finis, tient à la valeur de leur ouvrier, d'autant mieux cultivé qu'il est mieux payé, et à la réduction de leur travail manuel, par suite de nombreuses inventions mécaniques provoquées par un remarquable système de brevets. Parmi les articles d'exportation américaine, je citerai les locomotives des ateliers de Baldwin, à Philadelphie, exportées au Canada, dans l'Amérique du Sud et en Russie, au nombre de 15 en 1870, de 19 en 1871, de 45 en 1872, de 96 en 1873, de 48 en 1874, de 18 en 1875 et de 40 dans les 4 premiers mois de 1876; les ponts métalliques de l'établissement de Phœnixville, en Pennsylvanie, dont plus de 40 avaient déjà été construits, en 1876, pour les chemins de fer du Canada, et d'autres pour l'Amérique du Sud; les wagons de chemin de fer, dont 1.760 ont été expédiés, du milieu de 1873 à la fin de 1875, au Mexique, à l'Amérique du sud, à l'Angleterre, à l'Allemagne, au Canada, à l'Australie aux Indes occidentales et à la Turquie; les machines agricoles, demandées en quantités croissantes, principalement par l'Allemagne et l'Angleterre; les balances, les pompes à incendie, les machines à coudre, les armes à feu, etc. Les prix de certains objets spéciaux se sont même abaissés, malgré les tarifs protecteurs, grâce aux progrès résultant de la concurrence intérieure; les clous, dont la fabrication à la machine est d'invention américaine, ne coûtent plus que 0f,25 le kilogramme; de même pour les scies, les haches, la coutellerie, la quincaillerie, etc.

Ainsi donc, aux prix actuels, les Etats-Unis exportent certains articles manufacturés, même sur des marchés alimentés jusqu'ici par l'Angleterre. Mais cela ne saurait suffire à l'écoulement de leur excès de production. Pour développer leurs exportations, les étendre aux produits moins travaillés et moins spéciaux, leur ouvrir des débouchés autres que l'Amérique et les Indes occidentales, ils auraient besoin de réduire considérablement les prix de revient de leurs fontes, fers en barres, rails, etc., et c'est en quoi il est douteux qu'ils réussissent dans une assez large mesure. Cependant leurs efforts dans cette voie sont intéressants à observer. La nécessité universellement sentie de l'économie a déjà porté ses fruits. L'intervention des districts de l'Ouest fut un nouvel ai-

llon pour ceux de l'Est. La rupture, en août 1876, de la puissante
)ciation des mines d'anthracite de Pennsylvanie entraîna une
e baisse dans les cours des combustibles. Il y eut réduction
s les prix des matières premières, des transports, des sa-
es, etc., meilleure entente dans la conduite des usines, déve-
pement encore plus grand des procédés mécaniques, etc. A la
de 1876, le prix de revient de la fonte aux meilleurs hauts-
rneaux de la vallée de Lehigh n'était plus guère que de 75 francs
tonne en moyenne. A la même époque, les cours des rails,
ès avoir constamment baissé, avaient atteint, pour les rails
semer, à l'usine, 225f,60; pour les rails de fer, également à
ine, 164f,50; et pour les vieux rails, 98f,30. Ce mouvement de
sse continue; il mérite d'être signalé à l'attention de nos mé-
urgistes.

es renseignements qui suivent se rapportent à l'année 1875 et
années précédentes. Ils sont tirés pour la plupart d'un ouvrage
tulé: *The American Iron Trade in* 1876, et dû à M. J.-M. Swank,
rétaire de l'*American Iron and Steel Association*.

Production de la fonte.

1872	1873	1874	1875
tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
2.589.610	2.908.060	2.439.790	2.056.200

a production de 1875 est inférieure de 15 pour 100 à celle de
4. Elle a augmenté dans les États suivants: Maine, Virginie,
rgie, Indiana, Illinois, Wisconsin. Il y a eu diminution de
.800 tonnes sur les fontes à l'anthracite et de 105.200 tonnes sur
fontes au charbon de bois; il y a eu augmentation de 33.410 tonnes
les fontes à la houille et au coke. En somme, il y a eu diminu-
de 383.590 tonnes. 32 États et un Territoire ont fabriqué de la
te en 1875. La production totale s'est décomposée ainsi (*):

(*)	PRODUCTION.	
	Maxima.	Minima.
ant 1855. . . .	Fonte au bois.	Fonte à la houille et au coke.
puis 1855. . . .	Fonte à l'anthracite.	Fonte à la houille et au coke.
puis 1869. . . .	Fonte à l'anthracite.	Fonte au bois.
puis 1875. . . .	Fonte à la houille et au coke.	Fonte au bois.

	tonnes
Fonte à l'anthracite.	823.760
Fonte à la houille et au coke.	859.600
Fonte au charbon de bois.	372.840
Total.	2.056.200

Le nombre des hauts-fourneaux était :

Fin 1872	Fin 1873	Fin 1874	Fin 1875
612	657	693	713

Le nombre des hauts-fourneaux construits en 1872 a été de 41, en 1873 de 50, en 1874 de 38 et en 1875 de 24.

Sur les 713 hauts-fourneaux existant à la fin de 1875, 293 étaient en feu et 420 hors feu.

En 1875, la Pennsylvanie a fourni 42,4 pour 100 de la production totale des Etats-Unis en fonte; l'Ohio, 18,3; New-York, 11,7; le Michigan, 5; New-Jersey, 2,8; le Wisconsin, 2,7; le Missouri, 2,6; l'Illinois, 2,2; le Kentucky, 2,1, le Maryland, 1,7; la Virginie, 1,3; le Tennessee, 1,2; la Virginie occidentale, 1,1; l'Alabama, 1,1, etc.

Production des fers et aciers laminés de toutes sortes
(Non compris les fers forgés).

1872	1873	1874	1875
tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1.761.740	1.783.930	1.668.820	1.714.920

Voici comment la production de 1875 se décompose par État et par espèce :

ÉTATS.	RAILS en fer et en acier de toutes sortes.	CLOUS et crampons à la machine.	PLAQUES et tôles.	FERS en barres, fers d'angle, fers ronds, boulons, cercles.	TOTAUX par État.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Pennsylvanie.	231.450	59.790	106.140	272.870	670.250
Ohio.	83.260	26.890	20.210	85.170	215.530
Illinois.	170.780	4.020	1.810	5.440	182.050
New-York.	75.260	3.680	3.630	82.180	164.750
Massachussetts. . . .	16.680	25.030	12.150	36.590	90.450
New-Jersey.	850	23.690	3.280	22.300	50.120
Virginie occidentale.	370	46.980	270	1.640	49.260
Maryland.	27.780	»	8.870	5.700	42.350
Indiana.	21.140	8.430	»	10.400	39.970
Wisconsin.	25.770	»	»	13.090	38.860
Kentucky.	5.310	6.510	6.350	12.640	30.810
Missouri.	15.780	»	3.630	9.200	28.610
Virginie.	»	5.530	»	11.560	17.090
Divers.	44.520	3.860	8.540	37.900	94.820
Totaux par espèce.	718.950	214.410	174.880	606.680	1.714.920

1875, les clous et les crampons étaient fabriqués dans 14 États, qui occupaient 70 établissements comptant 3.800 machines.

fin de 1875, 35 États et un Territoire possédaient des laminoirs répartis

. . . .	332	usines,	dont 269	ont
ni lesquelles. .	97	étaient pour rails,	dont 64	marché
d'une part. .	50	pour rails de grandes dimensions, dont	45	dans
utre part. . . .	37	pour rails de petites dimensions, dont	19	l'année.

Production des rails.

	1872	1873	1874	1875 (*)
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes
de fer.	821.840	[redacted]	530.220	455.090
d'acier.	85.340	117.040	131.490	263.860
Totaux.	907.180	807.460	661.710	718.950

En 1877, la production des rails d'acier a surpassé de 100.000 tonnes celle rails de fer (*voir la note suivante de M. Henry*, p. 593).

1875, 18 États et un Territoire ont fabriqué des rails. Voici nent la production de cette année se décompose par État et espèce :

États.	Rails de fer et de Bessemer pesant plus de 19k,851 par mètre.	Rails de fer pesant moins de 19k,851 par mètre.	Rails d'acier autres que le Bessemer et rails de fer à tête d'acier.	Rails de fer et de Bessemer pour tramways.	Totaux par État.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
sylvanie. . .	203.790	18.800	420	8 440	231.450
is.	167.970	850	»	1.950	170.770
. . . . . .	78.270	3.000	»	1.980	83.250
-York. . . .	59.830	80	15.850	»	[redacted]
land.	27.780	»	»	»	27.780
onsin.	23.940	1.830	»	»	25.770
na.	20.120	810	»	210	21.140
achussets. .	16.680	»	»	»	16.680
uri.	14.510	20	»	1.250	15.780
essee. . . .	11.110	»	»	»	11.110
ornie. . . .	3.350	3.680	»	290	7.320
s.	28.440	2.140	1.360	700	32.640
Totaux par espèce. .	655.290	31.210	17,630	14.820 (*)	718.950

(*) Dont 2.090 tonnes en Bessemer.

Production d'acier Bessemer.

	1874	1875
	tonnes.	tonnes.
Fonte et spiegeleisen convertis. . .	185.380	359.200
Lingots produits.	171.120	340.660

La consommation de spiegeleisen en 1875 a été de 30.150 tonnes, dont 7.100 produites aux États-Unis et les autres importées.

Voici les productions des États-Unis en rails Bessemer depuis 1867, date des premières commandes, jusqu'à 1875 :

	tonnes.		tonnes.
1867.	2.310	1872.	85.340
1868.	6.550	1873.	117.040
1869.	8.740	1874.	131.490
1870.	30.840	1875.	263.870
1871.	34.690		

Le Bessemer est en outre employé à la fabrication de barres d'acier, de ressorts, d'essieux, de cercles et de bandages, d'outils, de pièces de machines et de bateaux à vapeur, de clous, de fers à cheval, de fils, de vis, etc.

En 1875, il y avait 10 usines Bessemer en activité, dont 2 depuis le commencement de l'année; une onzième a été achevée en 1876. Chacune possède 2 convertisseurs dits de 5 tonnes. La capacité annuelle de ces 11 usines Bessemer est de 600.000 tonnes environ.

Production des aciers autres que le Bessemer.

En 1875, 44 établissements fabriquaient des aciers au creuset, puddlé, poule et sur sole. La production totale de toutes ces sortes d'acier a été de 55.380 tonnes, au lieu de 45.070 en 1874. Voici comment la production de 1875 se décompose par État et par espèce:

ÉTATS.	ACIER au creuset.	ACIERS PUDDLÉS, poule et sur sole.	TOTAUX par État.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Pennsylvanie.	24.140	10.450	34.590
New-Jersey.	6.440	140	6 580
Nouvelle-Angleterre.	1.470	4.090	5.560
Ohio.	1.100	3.330	4.510
New-York.	2.090	»	2.090
Maryland et Georgie. . . .	240	1.360	1.600
Kentucky et Illinois.	180	270	450
Totaux par espèce. . .	35.740	19.640	55.380

La production d'acier Siemens-Martin ou sur sole a été en 1872 de 2.720 tonnes, en 1873 de 3.170, en 1874 de 6.350 et en 1875 de 8.210. Le nombre des usines fabriquant cet acier était de 12 ; leur capacité annuelle était de 40.800 tonnes. En 1876, deux nouveaux fours Siemens-Martin ont été construits. On remarquera le peu de développement que prend cette fabrication aux Etats-Unis.

Production du fer au bas foyer.

	1875	1874	1873
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Du minerai.	29.810	33.060	22.150
De la fonte et des riblons de fer.	26.940	22.880	22.520
Totaux.	56.750	55.940	44.670

Production sidérurgique de Pittsburg et du comté d'Alleghany.

Pittsburg, comté d'Alleghany, Pennsylvanie, étant le centre sidérurgique le plus important des Etats-Unis, je donnerai quelques chiffres concernant cette région :

	1874		1875	
Nombre d'usines possédant des laminoirs.	31		32	
Production des rails, fers en barres, fers d'angle, fers ronds, boulons, cercles.	176.090	tonnes.	161.230	tonnes.
Production des tôles et plaques.	47.800	—	41.380	—
Production des clous.	25.540	—	20.070	—
Production totale des fers laminés.	249.130	—	222.820	—
Nombre des hauts-fourneaux.	11		11	
Production de la fonte.	130.320	—	119.620	—
Nombre d'aciéries (*) (aciéries Bessemer non comprises).	10		13	
Production de l'acier au creuset.	16.200	—	20.870	—
Production des aciers sur sole, puddlé, poule. . .	5.440	—	6.220	—
Production totale des aciers (acier Bessemer non compris).	21.690	—	27.090	—

Mouvement commercial des fontes aux États-Unis.

	1871	1872	1873	1874	1875
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Production.	1.734.180	2.589.610	2.602.070	2.439.790	2.056.210
Importation.	222.740	268.500	140.330	55.490	60.280
	1.956.920	2.858.110	2.742.400	2.495.280	2.116.490
Exportation.	[illegible]	1.340	9.160	14.550	7.920
Consommation.	1.954.810	2.856.770	2.733.240	2.480.730	2.108.570

(*) Quatre avec laminoirs.

Mouvement commercial des rails.

	PRODUCTION.	IMPORTATION.		CONSOMMATION.
	tonnes.		tounes.	tonnes.
1867.	419.220		147.910	567.130
1868.	459.680		226.870	686.550
1869.	538.500		284.100	822.600
1870.	562.450		362.100	924.550
1871.	703.730	Fer. . .	467.200	1.216.920
		Acier. .	45.990	
1872.	907.180	Fer. . .	345.700	1.388.760
		Acier. .	135.880	
1873.	807.460	Fer. . .	90.000	1.042.220
		Acier. .	144.760	
1874.	661.710	Fer. . .	7.070	759.940
		Acier. .	91.160	
1875.	718.950	Fer. . .	1.760	735.510
		Acier. .	14.800	

Mouvement commercial des fers laminés de toutes sortes, sauf les rails.

	1871	1872	1873	1874	1875
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Production.	644 100	854.560	976.460	1.007.110	996.130
Importation.	134.290	102.320	74.090	31.830	25.830
	778.390	956.880	1.050.550	1.038.940	1.021.960
Exportation.	210	480	480	4.470	3.790
Consommation.	778.180	956.400	1.050.070	1.034.470	1.018.170

Valeurs des exportations et importations des fontes, fers et aciers.

	1871	1872	1873	1874	1875
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
Exportations. . . .	69.948.000	66.659.000	75.929.000	94.110.000	91.858.000
Importations. . . .	220.432.000	283.931.000	208.229.000	113.163.000	68.727.000

Les valeurs des exportations et importations de 1875 se décomposent ainsi par article:

ONS	francs.
nnes).	1.129.000
. . . .	1.660.000
fonte	
. . . .	545.000
. . . .	598.000
. . . .	3.037.000
r pour	
00 t.).	301.000
como-	
. . . .	3.429.000
fixes	
. . . .	392.000
. . . .	589.000
. . . .	13.351.000
40 t.).	1.957.000
. . . .	17.692.000
et fils.	83.000
. . . .	135.000
. . . .	3.019.000
. . . .	153.000
pisto-	
. . . .	23.332.000
. . . .	1.030.000
. . .	67.000
. . . .	144.000
sson -	
. . . .	6.511.000
. . . .	639.000
. . . .	3.622.000
. . . .	702.000
. . . .	7.717.000
endis.	54.000
. . . .	91.858.000

IMPORTATIONS.	francs.
Fonte brute (60.280 tonnes). .	8.127.000
Fer en barres (19.580 tonnes).	7.785.000
Rails et barres de fer pour chemins de fer (1.760 ton.).	306.000
Rails et barres d'acier pour chemins de fer (14 800 ton.).	5.130.000
Tôles de fer (3.530 tonnes). . .	2.889.000
Vieux fers et riblons (23.480 t.).	2.241.000
Ancres, câbles et chaînes (1.820 tonnes).	1.152.000
Machines diverses.	3.190.000
Quincaillerie.	1.084.000
Lingots, barres, tôles et fils d'acier.	9.684.000
Coutellerie.	55.80.000
Scies et outils.	106.000
Limes.	1.246.000
Fusils, carabines et pistolets.	2.808.000
Divers.	17.397.000
Total.	68.727.000

Minerais de fer.

roduction du lac Supérieur.

1	1872	1873	1874	1875
s.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
00	967.300	1.186.100	980.500	925.400

t de la production totale de la fonte aux États-

Unis est fabriqué avec des minerais du lac Supérieur. Leur prix à Cleveland, en 1876, était presque moitié du prix antérieur à la crise de 1873 : soit, pour le meilleur spéculaire, 32 francs en 1876, au lieu de 53f,6 et 58f,1 en 1873.

Importation aux États-Unis (chiffres approximatifs) :

1870	1871	1872	1873	1874	1875
tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
17.000	00.000	26.000	62.000	69.000	73.000

Production des combustibles minéraux

(D'après M. R. P. Rothwell).

	1874	1875	
	tonnes.	tonnes.	p. 100.
Anthracite	22.031.300	20.985.000	43.48
Houilles	25.735.800	26.448.200	54,78
Lignites	811.800	840.200	1,74
Totaux des combustibles minéraux de toutes sortes	48.578.900	48.273,400	100,00

27 États ou Territoires ont exploité des combustibles minéraux en 1875. La Pennsylvanie a fourni 64,54 pour 100 de la production totale ; l'Ohio, 9,15 ; l'Illinois, 7,37 ; le Maryland, 4,94 ; l'Iowa, 3,16 ; la Virginie occidentale, 2,32 ; l'Indiana, 1,69 ; le Missouri, 1,58 ; etc. Les 65,54 de la Pensylvanie comprennent 43,44 d'anthracite, c'est-à-dire la presque totalité de la production des États-Unis en anthracite, et 22,10 de houille.

L'exploitation de l'anthracite en Pennsylvanie, date de 1820. Sa production a dépassé 10.000 tonnes en 1824, 100.000 en 1829, 1.000.000 en 1840, 5.000.000 en 1852, 10.000.000 en 1863, 15.000.000 en 1868 ; elle a atteint ensuite les chiffres suivants :

1871	1872	1873	1874	1875
tonnes,	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
17.657.400	22.437.400	23.247.000	22.014.100	20.973.800

Elle a décru de plus de 8 pour 100 en 1876.

La production totale de la Pennsylvanie en anthracite, depuis 1820 jusqu'à la fin de 1875, est supérieure à 340.000.000 de tonnes.

Cours des charbons
(D'après M. R. P. Rothwell).

(*). — *Cours moyens de la tonne de lump à Philadelphie :*

1871	1872	1873	1874	1875
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
20,2	16,9	19,1	20,6	20,8

de la tonne des diverses classes d'anthracite à New-York :

STEAMER.	GRATE.	EGG.	STOVE.	CHESTNUT.
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
23,0	23,4	24,5	26,5	21,8
19,8	20,3	20,8	23,8	20,9

1876, les mines d'anthracite s'entendaient et fai-
l'association rompue, les cours sont fortement
quatre derniers mois de l'année.
rient de la tonne d'anthracite sur le carreau de la
le comté de Schuylkill, un des principaux districts
ale, de $10^f,01$ à $6^f,02$, suivant les charbonnages,
875 ; il n'était plus que de $5^f,50$ à $5^f,10$ en no-

s moyens de la tonne de houille de Cumberland rendue à Baltimore :

1871	1872	1873	1874	1875	1876
ncs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1,4	22,1	21,7	21,0	19,6	18,8

ırs de la fonte n° 1 à l'anthracite.

s moyens de la tonne à Philadelphie :

1872	1873	1874	1875
francs.	francs.	francs.	francs.
322,3	191,2	136,7	112,9

on des termes désignant les grosseurs différentes d'anthra-
e de M. E. Sauvage sur *l'Exploitation et la préparation de l'an-
ite.* — *Annales des mines,* 7e série, tome VII.

Prix de revient moyens de la tonne des diverses fontes à l'anthracite au haut-fourneau (d'après M. W. E. S. Baker):

1871	1872	1873	1874	1875
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
134,0	139,0	145,1	128,6	104,2

Le prix de revient de 1875 se décompose ainsi:

	francs.
Minerai.	48,0
Charbon.	31,9
Calcaire.	4,4
Main-d'œuvre.	11,5
Divers.	8,4
Prix de revient au haut-fourneau.	104,2
Intérêts d'argent.	7,1
Prix de revient total.	118,1

Cours des fers en barres pour chemins de fer.

Cours moyens de la tonne à Philadelphie :

1871	1872	1873	1874	1875
francs.	francs.	francs.	francs.	faancs.
318,7	365,3	344,5	265,7	241,2

Prix de revient moyens de la tonne des diverses sortes marchands en barres à l'usine (d'après M. W. E. S. Bak

1871	1872	1873	1874	1875
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
282,3	304,0	340,3	265,2	324,2

Le prix de revient moyen de 1875 se décompose ainsi:

	francs.
Fonte.	209,4
Charbon.	35,3
Main-d'œuvre.	60,5
Divers.	19,3
Prix de revient à l'usine	324,2
Intérêts d'argent.	7,6
Prix de revient total.	331,8

Cours des rails Bessemer.

Cours moyens de la tonne à l'usine :

	francs.		francs.
1868.	577,3	1872.	507,1
1869.	507,5	1873.	539,7
1870.	472,6	1874.	426,6
1871.	467,0	1885.	304.3

Navires en fer.

La construction des navires en fer aux Etats-Unis date de 1868. Les chiffres suivants ne comprennent pas les navires en fer construits pour l'étranger :

NAVIRES en fer construits aux États-Unis.	1868	1869	1870	1871	1872		1873		1874		1875	
	Tonnage.	Tonnage.	Tonnage.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.	Nombre.	Tonnage.
A voiles. . .	—	1.039	679	2.067	—	—	—	. .	—	—	—	—
A vapeur. . .	2.801	3.545	7.602	13.412	20	12.766	26	26.548	23	33,097	20	21.632
Total. . .	2.801	4.584	8.281	15.479	20	12.766	26	26.548	23	33,097	20	21.632

Chemins de fer.

	NOMBRE de kilomètres en exploitation.	NOMBRE de kilomètres construits dans l'année.
1830.	37	37
1840.	4.509	826
1850.	14.434	2.650
1860.	49.016	2.954
1865.	56.136	1.883
1870.	84.637	9.104
1871.	96.908	12.271
1872.	106.776	9,868
1873.	113.344	6.568
1874.	116.386	3.042
1875.	119.453	3.067

D'après M. H.-V. Poor, au 1er janvier 1876, 25.600 kilomètres étaient à voie double, triple et quadruple, et la longueur totale des voies ferrées des Etats-Unis était de 145.053 kilomètres.

D'après M. H. Flenning, au 1er février 1876, la longueur des che-

mins de fer à voie étroite aux États-Unis et dans l'Amérique anglaise était, de 4.299 kilomètres.

Paris, janvier 1877.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE AUX ÉTATS-UNIS POUR 1877.

I. — Production en 1877.

		tonnes métriques (*).	tonnes.
Fonte brute.	au charbon de bois	288.328	2.099.652
	à l'anthracite	847.992	
	au coke ou à la houille crue	963.332	
Fers laminés.	de toute nature et de toutes dimensions, autres que les rails	1.037.966	1.339.626
	Rails de fer	301.660	
Aciers.	Acier Bessemer en lingots (dont la majeure partie est transformée en rails)	508.531	578.730
	Acier fondu sur sole	22.706	
	Acier fondu au creuset	36.676	
	Aciers divers	10.817	
Rails d'acier.			392.038

II. — Production comparative des rails en 1876 et 1877.

	1876	1877
	tonnes.	tonnes.
Rails de fer	423.787	301.660
Rails d'acier	374.160	392.038
Total	797.947	693.698

III. — Nombre et situation des hauts-fourneaux.

	AU 31 DÉCEMBRE 1876.			AU 31 DÉCEMBRE 1877.		
	En feu.	Hors feu.	Total.	En feu.	Hors feu.	Total.
Au charbon de bois	73	206	279	79	193	272
A l'anthracite	85	143	228	103	128	231
Au coke ou à la houille crue	78	127	205	88	125	213
Totaux	236	476	712	270	446	716

(*Extrait par* M. A. Henry, *ingénieur des mines*, *de* « The Engineering and Mining Journal » de New-York, du 20 juillet 1878.)

(*) Les tonnes américaines étant des tonnes de 2.000 livres anglaises, la conversion en a été faite sur le pied de 907k,14 par tonne.

R L'INDUSTRIE ET LE COMMERCE
DE LA HOUILLE ET DU FER

S LES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS

BADOUREAU, ingénieur des mines (*).

ésence du combustible minéral ait été reconnue gne dès la conquête romaine, son exploitation ré-bstitution partielle au bois ne datent, en Angle-gne d'Henri III. Les mines de houille ont été éga-s au moyen âge en Belgique et en Allemagne, ,rie n'a commencé à se développer d'une manière in du siècle dernier. L'invention des machines à ication aux transports, la substitution de plus en : la houille au bois dans la métallurgie, la vulga-irage au gaz, ont donné à la houille une impor-t capitale et en ont décuplé, en 50 ans, la consom-nsommation exagérée a même donné à quelques inquiétudes sur le sort de l'humanité quand les uille accumulées dans le sein de la terre seront

esque perdu le souvenir du moment où le fer a ıze dans les usages domestiques; mais, tant qu'on :r qu'avec le charbon de bois, sa production a été 'éalité, l'âge du fer ne date que du siècle présent, tend déjà à être remplacé par un nouveau métal, verte de Bessemer a provoqué une des transfor-'ables qui font époque dans l'histoire de l'huma-en quelque sorte, les étapes du progrès.

d'hui plus de cent aciéries Bessemer qui produisent ,ions de tonnes d'acier, et qui se répartissent de ıte entre les divers États du globe.

---

ents qui composent cette note proviennent des sources sui-

dans tous les pays du monde, par M. Pechar. »
x statistiques de l'administration des mines en France pendant les

of the United Kingdom of Great Britain and Ireland » (1872-1877).
ues de l'industrie des mines en Russie de 1868 à 1876, par

ıes données recueillies pendant mes voyages de missions.

Fabrication d'acier Bessemer en 1877.

PAYS.	ACIÉRIES Bessemer.	CONVERTISSEURS.	QUANTITÉ D'ACIER produite, en tonnes.
Grande-Bretagne.	25	114	762.000
Etats-Unis.	11	27	534.412
Allemagne.	18	81	390.434
France.	7	26	218.000
Autriche-Hongrie.	13	32	97.470
Belgique.	2	12	75.258
Suède.	19	38	22,138
Russie.	2	4	8.636
Total.	97	334	2.108 384

Le procédé Siemens-Martin, plus récent que le procédé Bessemer, a sur lui le double avantage d'exiger moins d'habileté de la part des ouvriers et de permettre de transformer facilement les vieux fers en acier.

Le développement de la production de l'acier a donné une grande importance, d'une part aux minerais de fer que leur richesse et leur pureté rendent particulièrement propres à cette fabrication, et d'autre part aux minerais manganésifères capables de servir à purifier les minerais communs, soit qu'on les emploie directement dans la métallurgie de l'acier, soit qu'on commence par les transformer en spiegeleisen ou en ferro-manganèse.

Anciennement, on n'analysait pas les minerais de fer et on ignorait l'art de les associer ; on exploitait exclusivement les mines de fer situées dans le voisinage des forêts ou des bassins houillers. Aujourd'hui, grâce au développement de l'industrie de l'acier, grâce aux progrès de la sidérurgie, et grâce aussi à la facilité plus grande des transports, on peut exploiter avec avantage certaines mines de fer situées loin des bassins houillers sur lesquels se groupent les usines, pourvu que le minerai soit 1° de qualité supérieure; 2° abondant et situé près de la mer. Les minerais de fer de qualité supérieure se rapportent à deux classes distinctes : la 1re classe comprend des minerais très-purs ayant une richesse supérieure à 60 p. 100 et composés principalement de fer oxydulé et de fer oligiste. Ils se rencontrent en couches ou en filons dans les terrains anciens et particulièrement dans des schistes plus ou moins métamorphiques. Comme exemples, on peut citer les minerais de Dannemora, de l'île d'Elbe, de Mokta el Hadid, de Marbella. La 2° classe comprend des minerais

également très-purs, ayant une teneur en fer variable entre 50 p. 100 et 60 p. 100, avec quelques centièmes de manganèse. Ce sont principalement des hématites qui se rencontrent dans des terrains divers, et particulièrement dans les terrains secondaires, sous forme d'amas d'origine hydrothermale. Comme exemples, on peut citer les gîtes de Bilbao (Sommorostro) et de Carthagène, en Espagne, et ceux de la Tafna (Beni-Saf), en Algérie. On peut aussi rattacher à la même catégorie les hématites qui constituent le chapeau des filons de fer spathique formés par des eaux thermales analogues aux précédentes, mais traversant des terrains d'une autre nature. Ces dernières hématites n'ont pas une grande importance industrielle, car les carbonates qui les remplacent en profondeur, ont une valeur commerciale beaucoup moindre. Comme exemples, on peut citer les gîtes d'Allevard en France, de Soumah en Algérie, d'Irun en Espagne. Le tableau suivant donne une idée approximative de la composition de quelques variétés de minerais de fer de qualité supérieure.

	1re CLASSE.		2me CLASSE.		
	Ile d'Elbe.	Mokta.	Tafna.	Bilbao.	Carthagène.
Fe.	60—65	65—70	55—57	50—58	30—52
Mn.	0—0,25	0—2	2,5—2,7	0,5—2	0—22
S.	0—0,15	0—0,2	0—0,05	0—0,1	0,5—1,2
Ph.	traces.	traces.	0—0,02	0—0,05	0—0,8
CaO,MgO.	0—0,5	0—2	3—6	0,5—6	0,5—3
Silice et argile.	4—10	0—5	2—3	2—6	6—12

La révolution qui s'est opérée dans la sidérurgie, et dont nous avons essayé de résumer les principaux caractères a provoqué une crise universelle dont la gravité a été accrue par les circonstances diverses, en tête desquelles on peut, je crois, placer le grand déplacement de numéraire qui a suivi la guerre franco-allemande, et, surtout, la création d'un nombre exagéré d'usines. L'offre a dépassé la demande, et le prix du fer a subi une baisse d'environ 65 p. 100. En présence de prix aussi peu rémunérateurs, la production du fer, et, par suite, aussi de la houille, a partout cessé de croître; elle a même diminué dans plusieurs pays. Il faut espérer, cependant, qu'une fois l'équilibre rétabli, la production de la houille et du fer reprendra une marche ascensionnelle régulière, mais modérée.

L'état actuel de l'industrie de la houille et du fer dans les principaux pays producteurs de l'Europe peut être résumé par le ta-

bleau suivant, dont les éléments se rapportent, sauf indication contraire, à l'année 1876.

Production de la houille, du minerai de fer et de la fonte en Europe.

PAYS.	COMBUSTIBLE minéral.	MINERAI de fer.	FONTE.	OBSERVATIONS.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	
Grande-Bretagne.	133.611.788	17.111.049	6.660.893	
Allemagne et Luxembourg.	49.550.462	4.711 982	1.801.457	
France.	17.104.794	2.505.870 (1)	1.453.112	(1) 1875.
Belgique.	14.329 578	269.206	490.508	
Autriche et Hongrie. . . .	13.362.586	902.421	400.426	
Russie.	1.821.868	1.012.467	442.093	
Suède	92.352	796.462	350.541	
Espagne.	706.814	908.899	42.825 (2)	(2) 1873.
Italie.	101.640 (3)	248.000	20.278 (3)	(3) 1875.
Autres pays.	60.000	60.000	30 000	
Europe.	232.740.000	28.500.000	11.690.000	

En dehors de l'Europe, les seuls pays du monde où on exploite d'une manière sérieuse la houille et le fer sont les États-Unis, l'Australie, l'Extrême-Orient et l'Algérie.

Production de la houille, du minerai de fer et de la fonte hors d'Europe.

PAYS.	COMBUSTIBLE minéral.	MINERAI de fer.	FONTE.	OBSERVATIONS.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	
États-Unis.	48.273.447 (1)	4.000.000	1.898.883	(1) 1875.
Canada.	709.646	129.363 (2)	10.000	(2) 1871.
Autres États d'Amérique	400.000	200.000	100.000	
Chine.	2.065.000			
Japon.	396.000 (3)	120.000	60.000	(3) 1874.
Autres États d'Asie	1.100.000			
Algérie.	90.000	557.285 (4)	30.000	(4
Autres États d'Afrique. . .	10.000	50.000		
Australie.	1.380.000	30.000	15.000	
Total.	55.300.000	5.100.000	2.100.000	
Europe.	232.740.000	28.500.000	11.690.000	
Total général. . .	288.000.000	33.600.000	13.800.000	

Nous allons donner quelques détails relatifs aux divers pa l'Europe cités ci-dessus, à l'Algérie, et aux États-Unis de l' rique du Nord.

Angleterre. — L'Angleterre possède des gisements considérables de houille et de minerai de fer, un grand développement de côtes et une population active et suffisamment dense. La réunion de ces circonstances a donné naissance à un grand mouvement industriel et a permis la création d'un réseau de 27.540 kilomètres de chemins de fer, qui à son tour a réagi avantageusement sur l'industrie du pays.

La production de la houille, dans la Grande-Bretagne, s'accroît d'une manière assez régulière, malgré la crise commerciale, ainsi que le montrent les chiffres suivants :

ANNÉES.	PRODUCTION.
1856.	67.583.050 tonnes.
1866.	103.069.804 —
1876.	135.611.788 —

La plus grande partie de cette énorme production ne quitte pas l'Angleterre. Voici, en effet, comment a été utilisée la production de l'année 1872 :

Industrie du fer.	40.600.000	tonnes.
Fabriques.	27.400.000	—
Consommation domestique.	20.500.000	—
Usines à gaz.	8.100.000	—
Mines.	8.100.000	—
Navires à vapeur.	3.600.000	—
Chemins de fer.	2.200.000	—
Usines à cuivre.	900.000	—
Divers.	900.000	—
Exportation.	13.200.000	—
Total.	125.400.000	tonnes.

Les *Annales des mines* ont publié à plusieurs reprises la nomenclature des pays qui consomment des combustibles anglais, et nous nous contenterons de rappeler que la France, l'Allemagne, l'Italie, la Russie, la Scandinavie et l'Espagne sont en tête de cette liste.

La production du minerai de fer dans la Grande-Bretagne s'est élevée en 1877 à 16.943.194 tonnes métriques, représentant une valeur de 170.016.043 francs, soit en moyenne 10f,03 par tonne. Cette production est à peu près stationnaire depuis 1871 ; elle avait doublé pendant la période décennale précédente.

Au point de vue de la nature et de la valeur des minerais, voici comment pouvait se décomposer le résultat de l'extraction pendant l'année 1873 :

Production de la Grande-Bretagne en 1873.

	TONNES.	PRIX de la tonne.	COMPOSITION. Fer.	Oxyde de manganèse.	Acide phosphorique.	Pyrite de fer.
Hématite rouge.	2.151.978	31,25	47—67	0,0— 1,1	0—1,0	0,03—0,06
Fer spathique.	36.183	23,90	14—50	1,9—12,6	0—0,2	0,03—0,11
Minerai magnétique.	800	16,75	57—69	0,1— 1,9	0—0,7	0,07—0,80
Hématite brune.	574.531	16,00	12—63	0,0— 1,6	0—3,2	0,02—0,17
Carbonate argileux et black-band.	[redacted]	9,15	25—43	0,9— 3,3	0—1,4	0,05—0,21
Limonite.	2.233.509	6,20	17—49	0,0— 1,3	0—5,0	0,05—1,60
Divers.	85.293	23,90	. . . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . . . .
Total. . . .	15.577.499	12,80				

L'Angleterre n'exporte que très-peu de minerai de fer (652 tonnes en 1876); au contraire, elle en importe dans des proportions de plus en plus considérables. En 1877, elle a importé 1.158.681 tonnes valant 30.997.600 francs (26f,75 par tonne). Ce minerai vient de l'île d'Elbe, de l'Algérie, de l'Espagne et même de l'Amérique du Nord. En 1860, avant le développement du procédé Bessemer, l'importation du minerai de fer en Angleterre n'était que de 23.482 tonnes. La pyrite cuivreuse de la province de Huelva et de l'Alemtejo, dont l'Angleterre importe des quantités si considérables (420.000 tonnes en 1877), fournit, après grillage et lavage, un véritable minerai de fer, qu'il convient d'ajouter au chiffre précédemment indiqué pour l'importation du minerai de fer en Angle-[redacted]

En 1876, il y avait en Grande-Bretagne 209 usines à fonte, contenant 585 hauts-fourneaux en activité et 342 en non-activité. Ces usines ont consommé 17.797.042 tonnes de minerai et 15.847.955 t. de charbon; elles ont produit 6.660.892 tonnes de fonte valant 401.554.800 francs (60f,30 par tonne).

En 1876, la Grande-Bretagne a importé 31.952 tonnes de f valant 5.480.575 francs (171f,55 par tonne), et a exporté 924 de fonte valant 71.060.850 francs (76f,70 par tonne). Cette exp tion est dirigée pour plus de moitié vers l'Allemagne.

En 1877, l'Angleterre possédait 114 convertisseurs Bessemer ont produit environ 762.000 tonnes d'acier; la production t de l'acier a été de 905.154 tonnes, l'exportation de 24.792 to et l'importation de 5.100 tonnes.

En 1876, le nombre des usines à fer était de 512, et elles comprenaient 7.259 fours à puddler et 942 laminoirs. On évalue à 2.425.000 tonnes environ la production du fer laminé en 1874, y compris 1.189.599 tonnes de rails.

En résumé, l'Angleterre exporte environ pour 200 millions de francs de houille ($\frac{1}{9}$ de sa production), pour 50 millions de francs de fonte ($\frac{1}{7}$ de sa production) et pour 450 millions de francs de fers forgés et laminés, de rails, de feuillards, de fers plats, de tôles, de fer-blanc et d'articles finis de fer ou d'acier.

Allemagne et Luxembourg. — L'Allemagne occupe le second rang en Europe pour les combustibles minéraux. La houille se trouve particulièrement en Prusse, dans les provinces de Silésie, de Westphalie et du Rhin; le lignite se trouve surtout dans la province de Saxe. La Saxe royale fournit aussi des quantités notables de houille et de lignite. Voici, d'ailleurs, les données relatives à la production de 1875 :

ÉTATS.	HOUILLE.	LIGNITE.
Prusse.	33.419.299	8.340.259
Saxe royale.	3.061.275	596.382
Autres États.	955.794	1.431.045
Totaux.	37.436.368	10.367.686

L'Allemagne exporte une quantité notable de combustibles minéraux. Les chiffres suivants se rapportent à l'année 1877 :

DESTINATIONS.	HOUILLE.	COKE.	LIGNITE.
Autriche.	1.384.992	15.376	8.374 (Autriche à Russie)
France.	635.302	158.006	
Suisse.	361.593	18.709	
Belgique.	144.293	128.794	
Pays-Bas.	1.888.558	34.065 (Pays-Bas, Russie, Divers)	
Russie.	226.663		
Divers.	365.967		
Total.	5.007.368	354.950	8.374

Par contre, l'Allemagne a importé pendant la même année 2.028.764 tonnes de houille et 262.390 tonnes de coke provenant en majeure partie de l'Angleterre, et 2.459.789 tonnes de lignites provenant presque exclusivement de l'Autriche.

L'empire d'Allemagne est très-riche en minerai de fer, surtout si l'on y comprend le grand-duché de Luxembourg, qui, bien que

détaché politiquement de l'Allemagne, continue à faire partie du Zollverein. En 1875, la production de minerai de fer de l'empire d'Allemagne se répartissait de la manière suivante :

Prusse	2.594.422	tonnes.
Luxembourg	1.052.405	—
Lorraine	758.208	—
Autres États	325.317	—
Total	4.730.352	tonnes,

Cette production avait atteint en 1873 le maximum de 6.177.576t. En 1877, l'Allemagne a exporté 804.037 tonnes de minerais de fer provenant en grande partie du Luxembourg et dirigées surtout vers la Belgique, et elle a importé 237.441 tonnes de minerais étrangers destinés à la fabrication de l'acier Bessemer et ayant traversé les Pays-Bas en transit.

La production de la fonte en 1876 se répartit de la manière suivante :

Prusse	1.324.539
Luxembourg	231.658
Alsace-Lorraine	198.276
Autres États	92.072
Total	1.846.345

Pendant la même année 1876, l'Allemagne a importé 571.134t de fonte, provenant principalement de l'Angleterre, et en a exporté 289.417, principalement vers la Belgique.

Les nombreuses forges et fonderies de l'Allemagne ont produit en 1876 :

Fonte moulée.	1re fusion	44.887	tonnes.
	2e fusion	436.104	—
Fer	Rails et éclisses	126.288	—
	Formes diverses	864.080	—
Acier	Rails et éclisses	253.746	—
	Formes diverses	112.394	—
		1.837.499	tonnes.

Cette production dépasse fort peu la consommation locale ; l'importation et l'exportation sont restreintes.

France. — La production houillère de la France avait décuplé en 1860, relativement à ce qu'elle était au commencement de ce siècle ; depuis lors, en seize ans, elle a de nouveau doublé, et, en 1877, elle a atteint le chiffre de 16.889.201 tonnes. On peut voir dans les *Annales des mines* de quelle manière ce total se répartit entre les bassins producteurs. Les tableaux suivants, relatifs à 1877, montrent que cette production ne suffit pas à la consommation de la France :

IMPORTATION.			EXPORTATION.		
Provenances.	Houille.	Coke.	Destinations.	Houille.	Coke.
	tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.
ngleterre. . .	2 792 907	»	Belgique.	84.622	»
elgique.	3.825 060	382.894	Suisse.	88.960	15.151
llemagne. . . .	771.555	223.883	Italie.	289.718	2.710
atres pays. . .	3.364	8.157	Autres pays. . .	313.747	5.857
Totaux. . .	6.892.886	614.934	Totaux. . .	777.077	23.718

a France est très-riche en minerais de fer; les minerais inter- s dans les assises secondaires ou tertiaires de la Lorraine, de hampagne et du Berry sont en général d'assez mauvaise qua- ; mais les Pyrénées, les Cévennes et les Alpes fournissent des erais comparables à ceux de la Biscaye et de la Styrie. La pro- tion de 1875 a été de 2.505.870 tonnes de minerais propres à livrés aux usines. Anciennement, la France exportait plus de eral de fer qu'elle n'en importait; mais aujourd'hui les rôles t changés, ainsi que le montrent les tableaux suivants, relatifs 77 :

EXPORTATION.		IMPORTATION.	
Destinations.	Tonnes.	Provenances.	Tonnes.
gique.	47.216	Belgique.	223.443
emagne.	30.104	Allemagne.	30.709
tres pays.	1.791	Espagne.	248.226
		Italie.	139.775
		Algérie.	330 049
		Atres pays.	3.425
Total.	79.111	Total.	975.627

mineral belge et le mineral allemand restent près des fron- s de ces pays; le mineral de Bilbao alimente les hauts-four- x au bois des Landes et de la Bretagne, et surtout les hauts- neaux au coke du Nord; les minerais d'Algérie et d'Italie entent surtout le littoral de la Méditerranée et le centre de la ce. En 1872, le mineral indigène et le mineral étranger, con- nés pour la fabrication de la fonte au coke, valaient respecti- ent 10 francs et 30f,90, et, pour la fonte au charbon de bois, o et 24f,80.

Pendant les cinq périodes décennales qui se sont écoulées de 1826 à 1876, la progression de la production de la fonte en France a eu successivement pour raisons : 1,46, — 1,69, — 1,77, — 1,36 et 1,15.

La production de la fonte, du fer et de l'acier en France, pendant l'année 1875, est résumée par le tableau suivant :

			TONNES.	PRIX moyen.
				francs.
Fonte	au coke		1.260,826	101,65
	au bois		115.918	162,01
	mixte		71.528	132,02
	Total		1.448.272	
Fer	à la houille	autres que les rails	584.646	244,57
		rails	119.384	222,85
	au bois		20.899	417,73
	mixte		20.824	419,24
	Total		745.753	
Acier	Bessemer, Siemens-Martin	Rails	178.368	258,96
		Divers	37.748	372,23
		Tôles	7.351	460,80
	puddlé ou de forge		21.941	418,38
	cémenté		2.538	667,05
	fondu au creuset		8.447	799,73
	Total		256.393	

La production de l'acier n'était que de 4.915 tonnes en 1831.

Belgique. — La Belgique est l'un des pays les mieux favorisés sous le rapport des mines de houille, surtout si l'on tient compte de son peu d'étendue. La production, qui était déjà de 3.929.962 t. en 1840, a atteint en 1872 le chiffre de 11.616.166 tonnes; mais, depuis lors, elle a un peu diminué, et en 1876 elle a été de 10.486.660 tonnes. Près de la moitié de cette production est exportée à l'étranger. Voici les chiffres qui mesurent l'importation et l'exportation pendant les années 1872 et 1876 :

ANNÉES.		EXPORTATION.	IMPORTATION.	DIFFÉRENCE.
1872	Houille	4.608.016	210.829	4.397.187
	Coke	749.072	8.041	741.031
1876	Houille	3.828.482	805.580	3.022.902
	Coke	571.123	26.716	544.407

L'importation provient surtout de l'Angleterre et de l'Allemagne; la presque totalité de l'exportation se dirige vers la France et suit, par le chemin de fer du Nord et par les canaux, la direction de Paris.

La Belgique produit relativement peu de minerai de fer. La production, qui a atteint en 1865 le chiffre de 1.018.231 tonnes, est descendue en 1876 à 269.206 tonnes. En 1877, la Belgique a importé 783.296 tonnes de minerai de fer provenant, pour les deux tiers, du grand-duché de Luxembourg et, pour le troisième tiers, de la France, de l'Allemagne, de l'Espagne et de l'Algérie. Pendant la même année, la Belgique a exporté 215.658 tonnes de minerais de fer, presque exclusivement dirigés sur la France.

La production de la fonte, qui s'était élevée en 1872 à 655.565 t., est redescendue en 1876 à 490.508 tonnes. La Belgique n'exporte qu'une quantité minime de fonte (12.023 tonnes en 1877); au contraire, elle en importe une quantité considérable, afin d'alimenter ses forges et ses fonderies de deuxième fusion. Voici les chiffres relatifs à 1877 :

PROVENANCES.	TONNES.
Angleterre.	81.313
Luxembourg.	59.840
Prusse.	35.535
Pays-Bas.	14.634
Autres provenances.	2.056
Total.	193.378

La production des fers laminés a atteint en 1872 le chiffre de 502.577 tonnes et est redescendue en 1876 à 399.138 tonnes. La moitié de cette production est exportée, sous forme de fer brut ou d'ouvrages en fer, en Angleterre, en Allemagne, en France et dans toutes les parties du monde.

Autriche-Hongrie. — La production des combustibles minéraux dans la monarchie austro-hongroise, pendant l'année 1876, se décompose de la manière suivante :

	HOUILLE.	LIGNITE.	TOTAL.
Autriche.	4.934.334	6.933.381	11.867.715
Hongrie.	629.997	864.874	1.494.871
Total.	5.564.331	7.798.255	13.362.586

L'Autriche-Hongrie exporte en Allemagne des lignites de Bohême et en reçoit en échange des houilles de Silésie. En 1876, la monarchie a exporté 2.734.862 tonnes de charbon et en a importé 1.574.575 tonnes.

Les mines de fer de l'Austro-Hongrie sont remarquables par leur richesse et par la qualité des minerais qu'elles fournissent. En Styrie et en Carinthie, les mines d'Eisenerz et d'Hüttenberg, exploitées depuis l'antiquité la plus reculée, renferment encore chacune plus de 100 millions de tonnes de minerai de fer spathique manganésé. Ce minerai est particulièrement propre à la fabrication de l'acier, mais sa teneur n'est que de 40 à 42 p. 100, et il est nécessaire de le griller, ce qui porte sa teneur à 50 p. 100 environ. En Bohême, on exploite surtout du fer carbonaté lithoïde et de l'hématite rouge. Enfin les gisements du Banat ont l'avantage d'être situés dans le voisinage des mines de houille de Steyerdorf et de Resicza; mais ils sont malheureusement associés d'une manière trop intime à des mines métalliques.

La production du minerai de fer et de la fonte en 1876, dans la monarchie austro-hongroise, se répartit de la manière suivante entre les principales provinces :

		MINERAI DE FER.	FONTE.
Empire d'Autriche.	Styrie	280.938	116.593
	Carinthie	113.687	44.680
	Bohême et Moravie	129.795	69.961
	Autres provinces	30.545	41.772
Royaume de Hongrie		347.456	127.380
Total		902.421	400.426

L'Austro-Hongrie exporte un peu de minerai de fer (38.159 tonnes en 1876). Ordinairement, elle importe une faible quantité de fonte (38.057 tonnes en 1876), mais exceptionnellement, en 1872, cette importation a atteint le chiffre de 219.078 tonnes.

Russie. — En 1876, la Russie a produit les quantités suivantes de combustibles minéraux :

NATURE DU COMBUSTIBLE.	TONNES.	NOMS DES PRINCIPAUX BASSINS.
Houille	1.249.856	Dombrowa, Donetz, Moscou.
Anthracite	545.701	Donetz.
Lignite	29.311	Kiev-Elisabethgrad.
Total	1.824.868	

production ne suffit pas à la consommation de l'empire, l76, on a importé 1.497.214 tonnes de houille.

uve du minerai de fer dans presque toute l'étendue de la nais principalement dans l'Oural, qui fournit en abondance agnétique et de l'hématite brune. En 1876, on a extrait en .012 467 tonnes de minerai de fer, et l'on a fabriqué tonnes de fonte brute, 48.917 tonnes de fonte moulée, tonnes de fer et 17.937 tonnes d'acier.

production est très-insuffisante, et la Russie importe chaque nviron 400.000 tonnes de fer.

— La Suède ne possède presque pas de charbon, puisque ion de 1876 ne s'est élevée qu'à 92.352 tonnes; mais, en e, ce pays est l'un des mieux dotés de l'Europe sous le du fer. Les minerais de fer de Suède sont presque exclusiformés de fer magnétique et de fer oligiste, à peu près ement exempts de phosphore (de 0,003 à 0,05 p. 100) et es en manganèse. On exploite aussi des minerais d'allune qualité très-inférieure. En 1876, on a extrait :

Minerais en roche..................	787.461 tonnes.
Minerais d'alluvion..................	9.001 —
Total........	796.462 tonnes.

de exporte très-peu de minerais de fer (25.299 tonnes en le les traite sur place avec du charbon de bois, du coke du bois et de la tourbe. La Suède exporte pour 63 millions s de fonte, de fer et d'acier, et elle importe en échange de chemins de fer et des machines pour 41 millions de es minerais de Suède pourraient lutter sur le marché avec les minerais d'Espagne, car le minerai magnétique, nt à Gottenbourg à 15 ou 20 francs, pourrait, par transguliers, être expédié en Angleterre ou en Belgique pour t.

ne. — L'Espagne est très-riche en mines de houille; mais s exploite que très faiblement. En 1876, elle n'a produit 926 tonnes de houille et 30.888 tonnes de lignite, et, malu de développement de son industrie, elle a dû importer onnes de houille.

gne est exceptionnellement riche en minerais de fer; la 1 combustible empêche de les traiter sur place; mais leur upérieure permet de les exporter, et, depuis quelques anur exploitation s'est développée avec une activité surprea production, qui n'était que de 130.259 tonnes en 1861, a

atteint en 1877 le chiffre de 1.162.170 tonnes, et ce chiffre sera probablement triplé d'ici peu. Cette énorme augmentation provient principalement de la mise en exploitation, après la fin de la guerre carliste, du gîte de Sommorostro, près de Bilbao. Ce gîte métallifère renfermerait à lui seul, d'après M. Ramon Adan de Yarza, 160 millions de tonnes de minerai. Il fournit les trois variétés suivantes :

1° Le mineral doux (*vena dulce*), qui ne se rencontre qu'en faible quantité, est de l'oligiste noir, très-fusible et très-employé jadis dans les forges catalanes. Il tient de 56 à 60 p. 100 de fer et 1,25 p. 100 de manganèse ;

2° Le minerai sonore (*campanil*) est une hématite rouge à gangue calcaire, tenant de 52 à 54 p. 100 de fer et de 1 à 1,25 p. 100 de manganèse ;

3° Le minerai blond (*rubio*) est une hématite brune siliceuse, moins estimée que le campanil, et tenant de 50 à 53 p. 100 de fer et de 0,50 à 1 p. 100 de manganèse.

Une très-faible portion de ce minerai se traite sur place dans l'usine du Désert. Cinq grandes compagnies se sont fondées pour son exportation. Ce sont :

1° La compagnie espagnole de la Orconera, formée par l'association de M. Ibarra avec M. Krupp et avec les propriétaires de l'usine de Dowlais ;

2° La compagnie franco-belge, formée par l'association des usines de Denain, Anzin, Montataire, etc. ;

3° à 5° Les trois compagnies anglaises de Somorrostro, de Luchana et de Galdames. L'Angleterre absorbe à peu près la moitié du minerai de Bilbao ; le reste alimente les hauts-fourneaux au bois des Landes et de la Bretagne, et les usines à fer du nord de la France, de la Belgique et même de l'Allemagne. Le fret de Bilbao pour l'Angleterre et la Belgique varie de 12f,50 à 15 francs, et le fret pour Bordeaux et la Rochelle est de 10 francs. Si ces frets sont relativement élevés, malgré l'abondance du trafic, cela tient surtout à la barre qui ferme d'une manière presque absolue l'entrée de la rivière du Nervion aux navires de plus de 1.000 tonneaux.

Indédendamment des mines de Bilbao, il faut dire un mot des mines de Carthagène, bien qu'elles ne produisent plus que 150.000 t. par an. Le minerai de Carthagène n'est pas très-pur, et son prix de revient est élevé par suite de l'irrégularité des gîtes et de l'absence de moyens de transport (10 à 12 francs à bord). Sa teneur en fer et manganèse oscille autour de 50 p. 100 ; mais la proportion du manganèse est quelquefois comparable à celle du fer. Le

fret est de 9 francs pour Cette, 10 francs pour Marseille et 15 à 18 francs pour l'Angleterre.

Les gîtes de fer de Marbella ont fourni, en 1876, 70.000 tonnes de minerais magnétiques, qui ont été exportés en Angleterre.

Italie. — L'Italie ne produit comme combustible minéral que du lignite et de la tourbe, et elle consomme une quantité relativement considérable de charbons anglais; mais elle est beaucoup mieux douée sous le rapport du fer. En 1876, elle a produit 248.000 tonnes et exporté 197.697 tonnes de minerai de fer.

Les célèbres gisements de l'île d'Elbe, exploités depuis l'antiquité la plus reculée, semblent entrer dans une nouvelle période de prospérité. Ces minerais sont consommés principalement par les usines du sud-est de la France; on en exporte aussi en Angleterre et en Italie, et une très-faible quantité est traitée sur place. Le fret du port de Rio est de 9f,50 pour Marseille et de 11 francs pour Cette. Indépendamment de l'île d'Elbe, l'Italie possède des mines très-riches de fer magnétique à Cogne et à Traverselle (Piémont), et des mines d'hématite en Sardaigne.

Algérie. — La situation de l'Algérie présente, au point de vue qui nous intéresse, de grandes analogies avec celle de l'Espagne et de l'Italie. Comme combustible minéral, on ne connaît guère en Algérie que les lignites de Goleah et de Smendu; mais, en revanche, on y connaît et l'on y exploite de nombreuses mines de fer qui rivalisent avec celles de l'île d'Elbe et de Bilbao. La mine de Mokta-el-Hadid a déjà donné près de 4 millions de tonnes de minerais, pour le transport desquels on a construit un chemin de fer de 30 kilomètres, reliant Aïn-Morkha au port de Bône. La mine de Beni-Saf, près de l'embouchure de la Tafna, n'a encore fourni que 200.000 tonnes environ; mais on compte en tirer annuellement 300.000 tonnes, et, dans ce but, on construit actuellement un port qui est relié à la mine par un chemin de fer de 5 kilomètres. Les minerais d'Algérie s'exportent principalement en France, notamment sur le littoral de la Méditerranée, dans le voisinage du bassin houiller du Gard. On en exporte aussi en Angleterre, en Belgique, en Allemagne, dans les Pays-Bas et même aux États-Unis. Le fret d'Alger pour la France est de 8 à 10 francs. Pour les autres ports d'Algérie, le fret varie, suivant la commodité du port, l'importance du trafic et l'espérance du fret de retour, entre 10 et 14 francs; le fret de Bône à Marseille est de 10 francs; le fret de Beni-Saf est actuellement de près de 14 francs, mais on espère l'abaisser à 11 francs quand le port sera terminé. Le fret de l'Algérie pour l'Angleterre et la Belgique est de 18 à 20 francs.

En 1875, la production des mines de fer de l'Algérie s'est élevée à 557.285 tonnes. Ce minerai est presque intégralement exporté ; cependant, dès 1845, M. Pernolet avait indiqué qu'il conviendrait de traiter sur place les minerais pauvres en apportant le charbon nécessaire sur les navires qui viennent chercher les minerais riches ; ce projet vient d'être repris, et une société s'est constituée pour le mettre à exécution.

États-Unis. — Les États-Unis sont très-riches en houille, en anthracite et en minerai de fer. L'exploitation de ces matières a pris un grand essor au commencement de ce siècle, pendant que l'Europe devait suspendre son exportation. Actuellement, l'industrie se développe encore rapidement, grâce à l'accroissement de la population et grâce à un réseau de chemins de fer presque aussi étendu que celui de l'Europe entière : au 31 décembre 1877, les États-Unis possédaient 128.187 kilomètres de chemins de fer, et l'Europe 153.198.

La production du combustible minéral, qui n'était que de 1.332.771 tonnes en 1830, a atteint en 1875 le chiffre de 48.273.447 t., se répartissant ainsi :

Houille	26.448.234
Anthracite	20.984.981
Lignite	840.232
	48.273.447

La consommation du combustible des États-Unis est sensiblement égale à la production. La métallurgie du fer figure dans cette consommation au moins pour 60 p. 100.

Les minerais de fer existent en abondance aux États-Unis ; mais, d'une part, ils sont généralement très-éloignés des bassins houillers, et, d'autre part, ils sont souvent phosphoreux et rarement manganésifères. On importe aux États-Unis des minerais de fer du Canada, et même d'Espagne et d'Algérie.

A défaut de données précises sur la production et l'importation des minerais de fer, voici quelques chiffres relatifs à la production de la fonte, du fer et de l'acier en 1876 :

Fonte fabriquée par l'emploi. .	de l'anthracite		720.841
	de la houille et du coke		898,036
	Du bois et du charbon de bois		280.006
			1.898.883
Production des forges et aciéries.	Fers laminés, clous, etc. (rails non compris)		945.393
	Rails.	en fer	412.211
		en acier	385.788
	Acier (Bessemer non compris)		64.491
	Fer affiné au bas foyer ou aux forges catalanes		40.486
			1.848.371

'importation des États-Unis, en fonte et en fer, diminue considablement, et l'exportation, inférieure encore à l'importation, mente notablement et tend à l'égaler.

Excédant de l'importation sur l'exportation.

	1872.	1876.
Fonte brute.	249.447	75.831
Produits de laminoir. . .	130.061	18.124
Rails en fer.	498.442	— 750
Rails en acier.	141.545	4.513

conclusion à tirer de ces chiffres a été formulée de la mae suivante par M. Kupelwieser : « L'Europe, en aucun cas, ne perdre de vue le développement de l'industrie des États-Unis Amérique du Nord, ni en faire trop peu de cas. »

APPAREIL D'EXTRACTION POUR LES PUITS EN FONÇAGE

De M. W. GALLOWAY.

W. Galloway a imaginé et fait breveter, pour le service de raction dans les puits en fonçage, une disposition simple qui appliquée avec succès dans le pays de Galles, notamment à ouillère de Penrhiwfer. C'est un système de guidage des bennes. guides consistent en deux câbles de fil de fer, qui sont enés sur les tambours d'un treuil (à main ou à vapeur), passent deux petites molettes et descendent verticalement dans le . Ces deux câbles supportent un cadre en charpente recoud'un plancher, qui, par son poids, les maintient tendus. Ce cher est percé d'un trou circulaire pour le passage des bennes un autre pour le tuyau de retour d'air. L'appareil de guidage ne traverse reliant deux jambes verticales, qui portent chadeux anneaux embrassant les guides. Le câble de la benne dans un œil percé au milieu de la traverse. A la partie infée de sa course, l'appareil de guidage s'arrête sur deux tamplacés à l'extrémité des guides, et le câble descend à travers de la traverse jusqu'à ce que la benne arrive au fond du . En remontant, la benne reprend l'appareil de guidage au où elle l'a laissé.

Au jour, deux portes exactement équilibrées ferment le puits; sur ces portes sont installés des bouts de rails formant le prolongement d'une voie : on peut amener un wagonnet sous la benne sortie du puits. On vide la benne dans le wagonnet ou bien on la décroche et on l'emmène plus loin.

Le plancher supporté par les guides sert d'échafaud pour la construction de la maçonnerie du puits. On peut aussi le faire assez fort pour supporter des machines perforatrices : on le relève alors, à l'aide du treuil, pour faire partir les mines.

A l'aide de cet appareil, d'installation simple, l'enlèvement des déblais et de l'eau du fond d'un puits en fonçage se fait avec économie et sécurité.

Une disposition analogue est employée pour le fonçage de deux puits jumeaux à la houillère de Harris' Navigation, située dans le même bassin. Ces puits ont $5^m,20$ de diamètre intérieur ; chacun d'eux est desservi par un système de deux bennes, manœuvrées par une petite machine d'extraction. Il y a donc quatre câbles guides au lieu de deux ; mais le cadre de charpente porte deux poulies, sur lesquelles passent ces câbles guides. Étant attachés par un bout au haut du chevalement du puits, ces câbles s'enroulent au fond sur les poulies, remontent à la surface, passent sur des molettes, et vont finalement s'enrouler sur le treuil de manœuvre, qui n'a encore, grâce à cette disposition, que deux tambours. On remarquera que les deux guides d'une même benne sont nécessairement formés de deux brins différents. Grâce au guidage, l'extraction se fait à grande vitesse et sans qu'on ait à craindre de chutes de pierres. Les mineurs au fond du puits sont d'ailleurs protégés par le plancher du cadre (qui pourrait être aussi muni de portes). La profondeur atteinte par l'un de ces puits était, au milieu de décembre 1878, de 560 mètres.

ED. SAUVAGE.

DE L'ÉDUCATION TECHNIQUE AUX ÉTATS-UNIS.

Dans un discours qu'il a prononcé lors d'une réunion d'ingénieurs à Philadelphie, M. T. Egleston a développé des considérations sur l'éducation technique, qui sont intéressantes pour nous et qui mériteraient d'être reproduites avec plus de détails que n'en comporte le *Bulletin*. Il insiste d'abord sur la nécessité d'études générales aussi sérieuses que possible, précédant l'entrée à l'école d'application : c'est le seul moyen d'acquérir un juge-

r et prompt. Les jeunes gens qui se destinent à la car- ıgénieurs doivent étudier spécialement les mathématiques res, les langues vivantes (l'allemand d'abord, puis le , le dessin. Rappelant une remarque déjà faite par le ond, M. Egleston trouve que les élèves des écoles sont en rop pressés d'embrasser une carrière active : il en résulte tudes sont poussées trop rapidement. Certaines matières rammes des écoles techniques des États-Unis seraient vangeusement dans des cours préparatoires; il convien- ssi d'élever la limite d'âge inférieure fixée pour l'admis- n'est d'ailleurs pas tant par le nombre que par la valeur s qu'elle forme qu'une école se distingue.

s cours mêmes des écoles d'application, on doit chercher aux élèves un jugement indépendant et raisonné. Il ne négliger de traiter avec détail la partie économique des s, l'établissement des prix de revient des produits. Enfin, e la pratique doit être unie à celle de la théorie. Il n'est ssaire d'ailleurs, pour bien apprendre la pratique d'une ı, de devenir capable de l'exécuter soi-même en entier. ley B. Coxe, président de l'*American Institute of mining* r, s'adressant aux élèves de l'université de Lehigh, a a carrière des ingénieurs d'une façon digne de remarque. le qu'un jeune homme, sortant d'une école d'application, encore un ingénieur formé : il a encore beaucoup à ap- par la pratique, et, pour bien apprendre, il faut savoir se r au début d'une position modeste, où l'on peut étudier sans pouvoir commettre de fautes graves. Commencer per un poste trop élevé peut être dangereux. Citant son xemple, M. Coxe expose que, dans sa position d'exploi- ines, il a dû commencer par acquérir à ses dépens une e qu'il aurait facilement gagnée en travaillant dans une subalterne sous les ordres d'un chef habile. « Je regrette joute-t-il, « de ne pas avoir passé quelque temps dans r de construction de machines; j'y aurais acquis des con- s très-précieuses pour un mineur. La connaissance de la livres sera aussi fort utile aux ingénieurs. »

e termine en recommandant à ses auditeurs un examen di de la question ouvrière, et en leur donnant quelques ur leurs rapports avec les hommes qui seront placés sous res.

Ed. SAUVAGE.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME QUATORZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME QUATORZIÈME.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE

LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1878, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — Atti della SOCIETA TOSCANA DI SCIENZE NATURALI. *Pise.*
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse; partie scientifique: archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH - KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT-BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH.
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Etienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Giessen.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS. *Vienne.*

5. — The Canadian Journal of Science, Literature and History; CANADIAN INSTITUTE. *Toronto.*

6. — Zeitschrift des ARCHITEKTEN UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*

7. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*

8. — Berg und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*

9. — Bulletin de la SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.

0. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.

1. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*

2. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE. *Berlin.*

3. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*

4. — OBSERVATOIRE DE PARIS.

5. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston (États-Unis).*

6. — Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. *Wiesbaden*

7. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruxelles.*

8. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures *Londres.*

9. — Mittheilungen aus dem Jahrbuche der KÖNIGLICHEN UNGARISCHEN GEOLOGISCHEN ANSTALT. *Pesth.*

— The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*

— The Engineering and Mining Journal. *New-York.*

— NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*

— LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.

— Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LEOBEN und PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*

— Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*

— Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liége.*

— Transactions of the AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton (Pensylvanie).*

— REALE ACADEMIA DEI LINCEI. *Rome.*

— Stummer's Ingenieur. *Vienne.*

— ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.

— COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA. *Madrid.*

— Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1878.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

DORMOY (É.). — Théorie mathématique des assurances sur la vie; par Émile Dormoy. 2 vol. in-8°, XVI-640 p. 10 fr. (7569)

BONNEVIE (V.). — Mémoire ou exposé succinct sur un essai de l'application de la tétragonométrie au levé des plans parcellaires, accompagné de planches; par V. Bonnevie, géomètre expert à Chambéry. In-8°, XII-68 p. (9548)

Essai sur la constitution et les propriétés dynamiques de l'éther interstellaire. In-8°, 44 p. (7067)

GRUCY (L. J.). — Sur les accélérations des points d'un solide en mouvement, leur distribution en groupes géométriques; par L. J. Grucy, professeur à la faculté des sciences de Clermont-Ferrand. In-8°, 77 p. avec vign. Clermont-Ferrand. (9140)

HALPHEN. — Sur les invariants différentiels. Propositions données par la Faculté; par M. Halphen, répétiteur à l'École polytechnique. In-4°, 61 p. Paris. (7093)

LACAZE (J. P.). — Éléments d'analyse à l'usage des conducteurs des ponts et chaussées aspirant au grade d'ingénieur; par J. P. Lacaze, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, XIX-608 p. et 8 pl. Paris, lib. Dunod. 12 fr. (6030)

LEGOUX (A.). — Étude analytique et géométrique d'une famille de courbes représentées par une équation différentielle du premier ordre; par M. A. Legoux, professeur de mathématiques spéciales au lycée d'Angoulême. In-4°, 53 p. (8800)

MARCHAND (E.). — Note sur l'absorption atmosphérique des forces

ıes dans la lumière du soleil; par Eugène Marchand. In-8°, ·ec vign. (9457)

. E.). — Sur la théorie des équations algébriques. Sur la des surfaces; par M. A. E. Pellet, chargé de cours à la des sciences de Clermont. In-4°, 52 p. (7159)

2° *Chimie.* — *Physique.*

ε (P.). — Des densités de vapeur au point de vue chi- par Paul Cazeneuve, maître de conférence à la Faculté ecine de Lyon. In-8°, 128 p. (7856)

.) et J. Dépierre. — Dictionnaire bibliographique de la): par MM. J. Cloüet, professeur, et J. Dépierre, ingé- himiste. In-8°, XXXI-72 p. et 12 tabl. (10187)

n (E.) et Laugier (E.). — Guide pour l'analyse des ma- ucrées, sucres bruts, mélasses et liquides sucrés, etc. m; par E. Commerson et E. Laugier, ingénieur des arts ıfactures. In-8°, 339 p. avec grav. et pl. Marseille. (7281)

(J.). — Mémoire sur le fixage des couleurs par la vapeur; eph Dépierre, ingénieur-chimiste. Grand in-8°, 116 p. av. et 10 pl. (7289)

Beaumetz et Audigé. — Recherches expérimentales sur ance toxique des alcools; par MM. Dujardin-Beaumetz et In-8°, 19 p. (7902)

. — Physiologie expérimentale. Sur la genèse des fer- ıgurés; par Jules Duval. In-8°, 160 p. (7298)

(L.). — Recueil des travaux scientifiques de Léon Fou- e l'Institut, publié par Mme Ve Foucault, sa mère, mis en ar C.-M. Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, In-4°, 2 p. avec grav. et atlas de 23 p. et 19 pl. (9650)

P.). — Le Phonographe expliqué à tout le monde. Edison ɔventions; par Pierre Giffard. In-32, 128 p. (7940)

(L.). — Influence de l'électricité atmosphérique sur la n des plantes; par L. Grandeau. Gr. in-8° à 2 col., 4 p. . (7085)

l.). — Analyse spectrale des substances médicamenteuses s; par Henri Guyard. In-8°, 72 p. et 5 pl. (7092)

ʀ (A.). — Des uréides, par A. Henninger, préparateur de à la Faculté de médecine. In-8°, 100 p.

Iuiles industrielles. Recherches sur leur composition chi- leur acidité ou neutralité, etc.; par Jean fils. In-8°, p. 46 aux. 1 fr. (7967)

LENCAUCHEZ. — Étude sur les combustibles en général et sur leur emploi au chauffage par les gaz; par M. Lencauchez. In-8°, xvi-344 p. et atlas in-4° de 31 pl. 16 fr. (7366)

NAVAULT (F.). — Observations cliniques sur les effets physiologiques de l'acide arsénieux; par Ferdinand Navault, docteur en médecine. In-8°, 39 p. (8528)

PASTEUR, JOUBERT et CHAMBERLAND. — La Théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chirurgie. In-8, 23 p. (6718)

ROUSSEAU (H.). — Contribution à l'étude de l'acide chromique, des chromates et de quelques composés du chrome (physiologie, thérapeutique et toxicologie); par Henri Rousseau. In-8°, 118 p. (10093)

TISSANDIER (G.). — Le grand ballon captif à vapeur de M. Henry Giffard, cour des Tuileries, Paris, 1878; par Gaston Tissandier. In-8°, 68 p. Paris. (6774)

TOSELLI (J. B.). — Sur la glace artificielle; per J. B. Toselli, ancien officier du génie. In-8°, 48 p. avec vign. (10413)

UPMANN (J.) et E. VON MEYER. — Traité sur la poudre, les corps explosifs et la pyrotechnie; par les docteurs J. Upmann et E. von Meyer. Ouvrage traduit de l'allemand, revu et considérablement augmenté, par E. Desortiaux, ingénieur des poudres et salpêtres. In-8°, xxxv-859 p. avec 8 pl. et 123 gr. 18 fr. (12811)

VILLE (G.). Du dosage rapide de l'acide phosphorique, de la magnésie et de la chaux; par M. Georges Ville. In-8°, 11 p. avec fig. (7210)

WURTZ (A.). — La théorie atomique; par Ad. Wurtz, professeur à la Faculté des sciences de Paris. In-8°, 252 p. et planche. 6 fr. (12303)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

COTTEAU, PERON et GAUTHIER. — Échinides fossiles de l'Algérie; par MM. Cotteau, Peron et Gauthier. 4° fascicule. Étage cénomanien (1re partie), avec 8 planches. In-8°, 144 p. (10766)

FONTANNES (F.). — Études stratigraphiques et paléontologiques pour servir à l'histoire de la période tertiaire dans le bassin du Rhône; par F. Fontannes. III. Le bassin de Visan (Vaucluse). In-8°, x-120 p. avec 6 planches et vign. (12103)

MEUGY et NIVOIT. — Explication de la carte géologique agronomique de l'arrondissement de Rethel, département des Ardennes; par MM. Meugy, inspecteur général honoraires des mines, et Nivoit, ingénieur des mines. In-8°, 184. p. 3 fr. (10312)

MORIÈRE. — Le Lias dans le département de l'Orne, son étendue,

ses fossiles; par M. Morière, professeur de géologie à la faculté des sciences de Caen. In-8°, 12 p. (9788)

Morlet (L.). — Monographie du genre Ringicula et descriptions de quelques espèces nouvelles; par le commandant L. Morlet. In-8°, 66 p. et 4 pl. (9789)

Notions sommaires d'histoire naturelle et de géologie sacrée. In-8°, VIII-87 p. et pl. (9798)

Saporta (G. de). — Essai descriptif sur les plantes fossiles des arkoses de Brives, près le Puy-en-Velay; par le comte Gaston de Saporta, correspondant de l'Institut. In-8°, 76 p. (11178)

Selle (A. de). — Cours de minéralogie et de géologie; par Albert de Selle, professeur à l'École centrale. T. I. 1re partie: Phénomènes actuels; 2e partie: Minéralogie. In-4°, 589 p. et atlas de 147 p. (8763)

Waton (A.). — Étude des calcaires lithographiques de la Ligurie, gisements des environs d'Onéglia et de Port-Maurice (Italie); par M. Augustin Waton, ingénieur civil des mines. In-8°, 200 p. et 2 pl. (7211)

4° *Mécanique. — Exploitation.*

Boileau (P.). — Notions nouvelles d'hydraulique, concernant principalement les tuyaux de conduite, les canaux et les rivières; par P. Boileau, correspondant de l'Institut de France. In-8°, 182 p. et pl. (10722)

Contamin (V.). — Cours de résistance appliquée; par V. Contamin. In-8°, VIII-562 p. avec fig. (10965)

Delecroix (E.). — Traité théorique et pratique de la législation des sociétés de mines et spécialement des sociétés houillères en France et en Belgique; par Emile Delecroix, docteur en droit. In-8°, 412 p. (9598)

Delevaque (C.). — Étude générale sur les chaudières; par M. C. Delevaque, ingénieur des constructions navales. In-8°, 56 p. et 4 pl. 4 fr. (19 août). (8177)

Denfer (J.). — Traité pratique des chaudières à vapeur employées dans les manufactures, etc.; par J. Denfer, ingénieur civil. Avec 81 planches cotées et à l'échelle. Grand in-4° à 2 col., VII-48 p. Paris. (8356)

Desmousseaux de Givré (E.). — Théorie des mouvements oscillatoires des locomotives et des voitures; par M. Em. Desmousseaux de Givré. In-8°, 25 p. (7048)

Dombre (L.). — Le Grisou, mémoire étudiant d'une manière compa-

rative les moyens de prévenir les explosions du grisou dans les mines et les lampes dites de sûreté; par M. Louis Dombre, sous-directeur des mines d'Aniche. In-8°, 183 p. (9931)

Publié par la Société industrielle du nord de la France.

CARANTE (J.). — Instructions pratiques sur les travaux de la scie à découper. 1re partie. La découpure; par J. Carante. In-8°, 189 p. avec fig. (7029)

JUS. — Les forages artésiens de la province de Constantine (Algérie). Résumé des travaux exécutés de 1856 à 1878; par M. Jus. In-8°, 107 p. et carte. (7103)

ORTOLAN (J. A.). — Mémorial du mécanicien d'usine et de navigation; par J. A. Ortolan, mécanicien en chef de la marine. In-18 jésus, 522 p. (11462)

SARRAU (E.). — Addition au Mémoire sur les formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes; par M. E. Sarrau, ingénieur en chef des poudres et salpêtres. In-8°, 15 p. 1 fr. (8590)

SER (L.). — Essai d'une théorie des ventilateurs à force centrifuge; par Louis Ser, professeur à l'École centrale des arts et manufactures. In-8°, 44 p. avec vign. (19 novembre.) (11977)

SPARRE (M. de). — Mouvement des projectiles oblongs dans le cas du tir de plein fouet; par M. le comte Magnus de Sparre, lieutenant au 6e d'artillerie. In-8°, 92 p. et pl. (11195)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

CLARK (D. K.). — Membre de l'institution des ingénieurs civils de Londres. Tramways. — Construction et exploitation, traduit par M. O. Chemin, ingénieur des ponts et chaussées. Grand in-8° relié avec vignettes et planches; prix: 15 fr.

COMOLLI (L. A.) — Les ponts de l'Amérique du Nord. Comparaison des systèmes américains et européens; par L. Ant. Comolli, ingénieur. In-4°, XI-454 p. avec 213 vign. et atlas in-folio de 54 pl. (10758)

CORNU (L.). — Guide pratique pour l'étude et l'exécution des constructions en fer, à l'usage des architectes, ingénieurs, conducteurs de travaux, etc.; par L. Cornu, ingénieur. In-4°, 132 p. avec vign. 10 fr. (9074)

DUPONCHEL (A.). — Le Chemin de fer trans-saharien, jonction coloniale entre l'Algérie et le Soudan; par A. Duponchel, ingénieur en chef des ponts et chaussées. In-8°, 371 p. (11592)

FALIÈS (A.) — Chemin de fer à traction de locomotive sur routes; par A. Faliès. In-8°, 36 p. et 2 pl. 4 fr. (8389)

ısa (L.). — Les Chemins de fer économiques à voie étroite ways ruraux) dans le département du Cher; par L. Gallicher, ieur. In-8°, 44 p. et cartes. (8407)

W.) et T. G. Lommel. — Le Chemin de fer alpin par le Simpar MM. William Huber et Thomas George Lommel, ingés. In-8°, xvi-29 p. et 4 cartes. (9694)

ı (F.). — Manuel pratique de l'exploitation des chemins de s rues et des chemins de fer sur routes; par F. Sérafon, ieur civil. In-18 jésus et atlas, 332 p. (6935)

n des chemins de fer français au 31 décembre 1877. (Lon- et territoire desservi.) Ministère des travaux publics. In-4°, . et carte; lib. Dunod. 10 fr. (10379)

6° *Sujets divers.*

— Cours de torpilles, à l'usage des officiers, professé à dville; par M. Audic, lieutenant de vaisseau. 1re partie. ricité. 2e partie. Substances explosives. 2 vol. In-4°, 413 p. ig. (10141)

ɛa. — Mémoire historique sur la manufacture nationale rcelaine de France; par Gustave Gouellain. In-16, viii-59 p. (7227)

ɑu (C.). — La science de la brasserie. De la bière, de sa ation par les anciens et par les nouveaux procédés et dement par l'emploi des caves froides; par Ch. Blondeau. 125 p. (11261)

.ıer (A.) et E. Baudrimont. — Dictionnaire des altérations sifications des substances alimentaires, médicamenteuses mmerciales, avec l'indication des moyens de les recon- ; par MM. A. Chevallier et E. Baudrimont, professeurs à e supérieure de pharmacie de Paris. 5e *édition*.

ı (E.-L.). — Cours élémentaire d'artillerie; par E.-L. Co- , capitaine d'artillerie. In-8°, 319 p. et 5 pl. 5 fr. (7036)

-Claye (A.).— Situation de la question des eaux d'égout et r emploi agricole en France et à l'étranger; par M. Alfred d-Claye, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 28 p. (10780)

. P.). — De l'influence du travail souterrain sur la santé ineurs; par le docteur S. L. Paul Fabre, médecin de Comy. In-8°, 32 p. (11882)

F.). — Manuel de fortification passagère, de campagne et

du champ de bataille, à l'usage des officiers de réserve, de l'armée territoriale et des engagés conditionnels; par F. Husson, lieutenant au 28e régiment territorial d'infanterie. In-12, XIV-226 p. avec 60 vig. (10588)

LECHARTIER (G.). — Agriculture théorique et pratique, basée sur la chimie agricole; par G. Lechartier, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Rennes. In-18 jésus, 531 p. (7360)

LEDIEU (A.). — Les nouvelles méthodes de navigation, étude critique; par A. Ledieu, examinateur de la marine; renfermant tous les nouveaux types de calcul pour la détermination des droites de hauteur et du point complet à la mer, ainsi que pour la réduction des distances lunaires, etc. In-8°, XXX-534 p. avec vignettes. (28 octobre.) (11077)

LUZEUX (A.). — Conférences régimentaires sur la tactique telle qu'elle est définie par règlement du 12 juin 1875, sur les manœuvres de l'infanterie; par A. Luzeux, lieutenant-colonel du 93e régiment d'infanterie. In-18 jésus, VIII-256 p. 2 fr. 50 c. (9998)

MAGNIEN (C.). — Céramique et science du moulage; Beaux-arts en reliefs et art décoratif; Porcelaine, vieux Sèvres et kaolin; par M. Célestin Magnien. In-32, 223 p. 2 fr. (10833)

Manuel des défenses sous-marines, rédigé en conformité de l'article 11 du règlement d'organisation de l'école de Boyardville. In-18, 182 p. avec vig. 2 fr. (9748)

MIRET. — Aérostation; construction, description et direction des ballons; par M. Miret. Gr. in-8°, 78 p. avec vign. 2 fr. 50 c. (11100)

PETIT (T.). — Les engrais; par M. Th. Petit, ingénieur des arts et manufactures. Gr. in-8°, 128 p. avec vign. 4 fr. 50. (11134)

Règlement sur le service des bouches à feu. Titre Ier. Service des bouches à feu de campagne. Règlement provisoire sur le service du canon de 95 millimètres monté sur affût de campagne. In-32, 110 p. (9823)

Règlement sur le service et les manœuvres des pontonniers. Approuvé par le ministre de la guerre. In-18, 429 p. et atlas in-8° de 25 pl. 3 fr. 50 c. (9824)

OUVRAGES ANGLAIS.

ɔgraphy... Sur la cristallographie de la cal-
III-72 p., 1 pl. 3f,25.
chemistry... Éléments de chimie théorique
·tie : chimie inorganique. 6e édition. In-8°,

ue... Catalogue des fossiles australiens, com-
e et l'île de Timor. In-8°, 236 p. 13f,25.
ost-tertiary deposits... Les dépôts post-ter-
Cambridge. In-8°, 85 p. 3f,25.
ogie. In-4°.
steam, air,... Exemples de machines à va-
des types les plus usuels. In-4°, 528 p., avec
f,50.
underground surveying. Pratique du lever
ns. In-8°, 38 p. 2f,50.
treatise... Traité pratique de la fonte et du
p. 22f,50.
gical Survey. Les roches éruptives de Brent
ons, par F. RUTLEY. In-8°. 19f,50. — Les pois-
es roches crétacées d'Angleterre, par E. T.
i.
und fossils... Géologie et paléontologie des
e et crétacée du Sussex. Nouvelle édition,
e par T. RUPERT JONES. In-4°, 500 p. 52f,50.
tistics... Statistique de l'industrie minérale
our 1877. In-8°, 262 p. 2f,50.
geology... Géologie et géographie physiques
gne. 5e édition. In-8°, XVI-639 p. 19f,50.
Traité du grisou et de la ventilation. In-8°.

ys... Nos chemins de fer, esquisse historique
°, 304 p. 7f,50.
Traité des chaudières à vapeur. 5e édition.

s... Hydrostatique et pneumatique. In-18,

phy. Cristallographie. In-8°, 128 p. 1f,25.
the geology. Manuel de la géologie de l'Ir-
, avec des figures et une carte. 18f,75.

KINGZETT. *Animal chemistry*. Chimie animale. In-8°, 494 p. 22f,50.

Parliamentary. Railway accidents... Accidents de chemins de fer; rapport pour le 1er semestre 1878.

—— *Railways...* Chemins de fer; rapport sur les freins continus.

BAYLEY. *A pocket book...* Manuel à l'usage des chimistes, manufacturiers, métallurgistes, etc. In-32, 412 p. 6f25.

GORE. *The art of scientific...* L'art des découvertes scientifiques, ou les conditions et méthodes générales de recherche en physique et en chimie. In-8°, 660 p. 18f,75.

HARRISON. *Practical geology*. Géologie pratique. In-12, 150 p. 2 fr.

RODWELL. *Etna: a history...* L'Etna: histoire de cette montagne et de ses éruptions, avec cartes et figures. In-8°, 150 p. 11f,25.

Coal, its history... Le charbon, son histoire et ses usages; par les professeurs GREEN, MIALL, THORPE, RUCKER et MARSHALL. In-8°, 360 p. 15f,75.

HUNTER. *The history, manufacture...* Histoire, fabrication, distribution et consommation économique du gaz de houille. In-8°. 1f,25.

THOMAS. *Coal mine gases...* Grisou, ventilation, et gaz renfermés dans le charbon. In-8°. 13f,25.

EVERS. *Steam and steam engines...* La vapeur et les machines à vapeur; machines terrestres, marines et locomotives. 3e édit., revue et augmentée. In-12, 390 p. 3f,75.

GOODEVE. *Text-book...* Traité de la machine à vapeur. In-8°, 296 p. 7f,50.

RANKINE. *Manual...* Manuel de la machine à vapeur et autres moteurs. 9e édit., revue par W. J. Millar. In-8°, 612 p. 15f,75.

THURSTON. *History of the growth...* Histoire du développement de la machine à vapeur. In-8°, 490 p. 8f,25.

PRYDE. *Mathematical tables...* Tables mathématiques: logarithmes des nombres de 1 à 10.800, des lignes trigonométriques, etc. Nouvelle édition. In-8°, 494 p. 5f,75.

LYELL. *Student's elements...* Eléments de géologie. 3e édit., revue et corrigée. In-8°, 690 p. 11f,25.

ROSCOE and SCHORLEMMER. *Treatise...* Traité de chimie. Vol. 2: métaux, part. 1. In-8°, 500 p. 22f,50.

Royal Society New South Wales... Société royale de la Nouvelle-Galles du Sud. Journal et comptes-rendus pour 1877. Vol. 2. Publié par A. Liversidge. In-8°, XXXV-305 p. 9f,50.

WILTHSHIRE. *The history of coal...* Histoire du charbon. In-8°, 36 p. 1f,25.

BLYTH. *A manual*... Manuel de chimie pratique. In-8°, 484 p. 15f,75.

GARNETT. *An elementary treatise*... Traité élémentaire de la chaleur. 2e édit., revue et augmentée. In-8°, 210 p. 4f,50.

ISHERWOOD. *Magnetism*... Le magnétisme et l'électricité. In-12, 100 p. 1f,25.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

ADAMS. *Railroads*... Les chemins de fer, leur origine et leurs problèmes. New-York. In-12, 216 p. 8f,25.

KIRKMAN. *Baggage car traffic.* Trafic des messageries. New-York. In-12. 12f,50.

— *Railway service*... Service des chemins de fer; trains et stations. In-8°, 280 p. 12f,50.

DRINKER. *Tunnelling*... Percement des galeries, composés explosifs, et perforatrices. New-York. In-4°. 131f,25.

MARKS. *The relative proportions*... Proportions relatives de la machine à vapeur. Philadelphie. In-12. 9f,50.

MC LEAN. *Mastodon*... Le mastodonte, le mammouth et l'homme. Cincinnati. In-12. 3f,75.

OUVRAGES ALLEMANDS.

FRITSCH. *Die Reptilien und Fische*... Les reptiles et les poissons de la formation crétacée de Bohême. Prague. In-4°, IV, 46 p., 10 pl. 37f,50.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours de Bunsen, Fittig, Fresenius, etc. Brunswick. In-8°. 26e livraison, t. II, p. 1153-1248; 3 fr. — 27e liv., t. III, p. 1-96; 3 fr.

KOBELT. *Illustrirtes Conchylienbuch*... Conchyliologie illustrée. Nüremberg. In-4°. 5e liv., t. I, XVI, p. 105-143, 10 pl. 7f,50.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Rœmer; continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 269-273, 162 p., 12 pl. Chaque livraison 11f,25.

Die Eisenerze Œsterreichs... Les minerais de fer de l'Autriche et

leur traitement. Vienne. In-8°, VIII-308 p., avec 2 cartes. 7f,50.

ANGELIN. *Iconographia Crinoideorum in stratis Sueciæ siluricis fossilium*. Stockholm. In-f°, IV-64 p., 29 pl. 50 fr.

—— *Paleontologia scandinavica cura et auspiciis Academiæ regiæ scientiarum Suecanæ, additamentis instructa, post mortem auctoris iterum emissa*. Part. I. Crustacea formationis transitionis. Fasc. 1 et 2. Stockholm. In-8°, IX-96 p., avec 48 pl. 50 fr.

MOJSISOVICS V. MOJSVAR. *Die Dolomit-Riffe*... Les récifs dolomitiques du Tyrol méridional et de la Vénétie. 6 fascicules et 1 carte géolog. en 6 feuilles. Vienne. In-8°. Fasc. 1, p. 1-80, avec 5 pl. et 1 carte. 7f,50.

ZITTEL. *Studien*... Études sur les éponges fossiles. 2e partie : Lithistidées. Münich. In-4°, 90 p. et 10 pl. 6f,25. (Extr. des *Abhandl. d. k. bayer. Akad. der Wissenschaften*).

BLAHA. *Die Steuerungen*... Les distributions des machines à vapeur. Berlin. In-8°, VIII-150 p., avec 214 fig. et 24 pl. 8f,75.

HEUSINGER V. WALDEGG. *Musterconstructionen*... Types de constructions pour l'établissement des chemins de fer. Hanovre. In-f°. 1er vol., 3e liv., 1re moitié, p. 49-72, avec 5 pl. 3f,25.

—— *Musterconstructionen*... Types de constructions pour l'exploitation des chemins de fer. Hanovre. In-f°. 1er vol., 3e liv., 1re moitié, p. 41-45, avec 5 pl. 3f,75.

GROTH. *Die Mineraliensammlung*... La collection minéralogique de l'Université Kaiser Wilhelm à Strasbourg. Strasbourg. In-4°, X-271 p., avec 6 pl. 20 fr.

HEIM. *Untersuchungen über den Mechanismus*... Recherches sur le mécanisme de la formation des montagnes, comme suite à la monographie géologique du groupe du Tödi et des Windgälle. Bâle. T. I, XIV-346 p., avec un atlas. 50 fr.

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde Deutschlands*... Paléontologie de l'Allemagne. 2e part., t. V. Coraux. Leipzig. In-8°, VIII-612 p. avec un atlas de 28 pl. 87f,50.

STERN. *Beiträge zur Theorie*... Contributions à la théorie des nombres de Bernoulli et d'Euler. Gœttingue. In-4°, 44 p. 3 fr. (Extr. des *Abhandl d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen*.)

Handbuch für specielle... Manuel technique spécial des chemins de fer, publié par *Heusinger v. Waldegg*. Leipzig. In-4°. 5e vol. 2e moitié; p. XXVI et 321-660, avec 54 pl. 37f,50.

MAX. V. HANTKEN. *Die Kohlenflötze*... Les gisements et l'exploitation des combustibles minéraux en Hongrie. Bude-Pesth. In-8°. IV-354 p., avec 4 cartes, 1 pl. et 67 fig. 12f,50.

und Ventil-Dampfmaschinen. Les machines
ipzig. In-4°. 1re livrais., 60 p., avec 21 pl. 15 fr.
der elektrischen... Manuel de télégraphie
In-8°. T. II, 3e liv., p. 267-451. 8f,50.
r der Electricität... Technologie de l'électri-
sme. Iéna. In-8°. XIII-576 p., avec 153 fig. dans

ent. En Orient. 2e partie. Observations géolo-
1. Stuttgard. In-8°, VI-136 p., avec 6 pl. 5f,50.
alogie. La minéralogie. 5e édit. Leipzig. In-8°,

Untersuchungen... Recherches géologiques sur
ale du Balkan et les régions limitrophes. I-V.
: 1 carte géol. et 8 pl. (Extr. des *Sitzungsbe-*
d. Wissenschaften.)
he Geologie... Géologie technique, ou appli-
ie à l'industrie et à l'agriculture. Halle. In-8°,
fig. 8f,75.
r Geschichte... Contributions à l'histoire de
nines dans la province de Brandebourg. Fasc.
e. In-8°. 5 fr.
ulik... L'hydraulique et les moteurs hydrau-
es turbines et les roues hydrauliques; 2e fasc.,
l. 3f,75.
he Süd-Tyrol... Description géologique de
ridional. Berlin. In-4°, x-375 p., avec 1 carte
l. 37f,50.
der algebraischen... Théorie des équations
hague. In-8°, 348 p. 12f,50.
... Leçons sur les équations différentielles.
194 p. 10f,75.
.. Les fours métallurgiques. Freiberg. In-8°,

Geologie... Esquisse de la géologie de l'Alsace-
rg. In-8°, IV-123 p. 3f,75. (Extrait de la *Des-*
de l'Alsace-Lorraine.)
n... Les échinides des dépôts tertiaires du
onais. Cassel. In-4°, 99 p., av. 11 pl. 50 fr.
tologica.)
r Schweiz. Le monde primitif de la Suisse.
t augmentée, en 8 livraisons. Zurich. In-8°,
c 3 pl. 2f,50.

LEYPOLD. *Mineralogische Tafeln...* Tables minéralogiques; guide psur la détermination des minéraux. Stuggard. In-8°, 128 p. 3f,75.

SCHLÜTER. *Kreide-Bivalven...* Bivalves crétacés; étude du genre *Inoceramus*. Cassel. In-4°, 41 p. avec 4 pl. 20 fr.

STRUCKMANN. *Der obere Jura...* Le jurassique supérieur des environs de Hanovre. Hanovre. In-4°, VIII-169 p., avec 8 pl. 20 fr.

EICHLER. *Die Anwendung der Pulsometer...* L'emploi des pulsomètres brévetés de C. Henry Hall à l'épuisement du puits Adolphe de la mine de lignite de la compagnie Hermania, à Reichenwald. Berlin. In-8°, 42 p., 1 pl. 2f,50.

KRONAUER. *Atlas der mechanischen...* Atlas de technologie mécanique. 1re partie. Filage et tissage. Hanovre. In-fol., 2 pag. et 50 pl. 15 fr.

STRIPPELMANN. *Die Bohrmethode...* La méthode de sondage avec tiges rigides et appareil à chute libre, et le sondage au diamant. Klagenfurt. In-8°, 61 p., 6 pl. 3f,25. (Extrait du *Zeitschrift d. berg-und hüttenmänn. Vereins für Steiermark u. Kärnthen.*)

OUVRAGES ITALIENS.

DURVAL. *Trattato di meccanica...* Traité de mécanique rationnelle des solides. Rome. In-4°, 278 p. avec 128 dessins intercalés dans le texte. 12 fr.

LAWLEY. *Quattro memorie...* Quatre mémoires sur des restes fossiles, lus aux séances de la Société toscane des sciences naturelles de Pise. Pise. In-8°, 32 p.

Notizie sul servizio... Quelques notes sur le service des mines et sur le corps royal des ingénieurs qui en est chargé. Rome. In-8°, 16 p.

SBERTOLI. *Brevi cenni...* Quelques renseignements sur la préparation et l'exportation du carbonate de plomb (céruse). Gênes. In-8°, 6 p.

ARZELÀ. *Teoria elementare...* Théorie élémentaire des limites et des nombres irrationnels. Florence. In-8°, 56 p.

BOMBICCI. *Contribuzioni...* Contributions à la minéralogie italienne. Bologne. In-4°, 56 p. et 3 pl.

CAPELLINI. *Il calcare di Leitha...* Le calcaire de la Leitha, l'étage sarmatique et les couches à congéries dans les montagnes de Livourne, de Castellina Marittima, de Miemo et de Monte-Catini. Rome. In-4°, 20 p.

. *Balenottere fossili...* Balénoptères fossiles et Pachyacan-
ɜ l'Italie méridionale. Rome. In-4°, 22 p. et 3 pl.
la prehnite... Sur la prehnite des montagnes de Li-
et sur les minéraux qui l'accompagnent. Bologne.
8 p. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences de Bo-*

la pietra... De la pierre de Lecce et de quelques-uns de
siles. Bologne. In-4°, 32 p., 3 pl. (*Mémoires de l'Académie*
ences de Bologne.)
. *Della classificazione...* De la classification en géologie.
e.
. *Le salse e vulcani...* Les salses et les volcans de fange.
. In-8°, 38 p.
. *Su alcuni fossili...* Sur quelques fossiles paléozoïques
pes maritimes et de l'Apennin de Ligurie, étudiés par
helotti. Rome. In-4°, 18 p. et 4 pl.
Le applicazioni... Les applications de la géométrie des-
e. 1re partie. In-4°, 135 p., avec un atlas de XXIII planches.

. *Contribuzioni...* Contributions à la géologie du Frioul.
. In-8°, 50 p.
cuivre de Roccatederighi (Toscane); notices annexées
des travaux pour l'Exposition de Paris, de 1878. Florence.
n-4°, 24 p.
latematica... Mathématiques exactes. Fausseté du sys-
cyclométrique d'Archimède, quadrature du cercle d'An-
etc. Voghera. In-4°, 146 p., 1 pl.
.LI. *Dei terreni terziarii...* Des terrains tertiaires des
ns de Sienne. Sienne. In-4°, 16 p., avec une carte géolo-
et une planche.
.. *Nuculidi terziarie...* Nuculides tertiaires trouvés dans
vinces méridionales de l'Italie. Rome. In-4°, 38 p., 5 pl.
t des *Mém. de l'Acad. des Lincei.*)
Intorno ad alcuni..... Sur quelques progrès récents de
rie des systèmes élastiques. Vérone. In-8°, 40 p.
ppunti paleontologici. Contributions paléontologiques.
les *Myliobates* fossiles des terrains tertiaires d'Italie. In-8°,
vec fig. Gênes. (Extrait des *Ann. du Mus. d'hist. nat. de*
)
— Contributions paléontologiques. 3° Découverte du genre
rodus dans les Apennins de Ligurie. In-8°, 6 p. avec fig.
texte. Gênes.

ISSEL. *Di alcune*... De quelques carnassiers fossiles des environs de Finale. In-8°, 16 p. avec pl. Gênes.

——*Nuove ricerche*... Nouvelles recherches sur les cavernes à ossements de la Ligurie. In-4°, 64 p. avec 5 pl. et des fig. dans le texte. Rome.

MANTOVANI. *Costituzione geologica*... Constitution géologique du sol romain. Rome. In-4°, 34 p.

MOLTENI. *Unità della materia*... Unité de la matière universelle et théorie des éléments. Rome. 16 p., 44 pl. 1 fr.

RICHELMY. *Alcune osservazioni*... Quelques observations sur la théorie donnée par Poncelet pour expliquer les phénomènes connus sous le nom de résistance des fluides. Turin. In-8°, 22 p. (*Actes de l'Acad. des sciences de Turin.*)

SBRIZIOLO. *Conferenze*... Conférences de chimie inorganique moderne. Fascic. I. Caltanisetta. In-4°, 16 p. Tout l'ouvrage. 10 fr.

GOIRAN. *Storia sismisca*... Histoire séismique de la province de Vérone. 1re partie. Vérone. In-12, 12 p.

BRUNO. *La misura*... La mesure des hauteurs au moyen du baromètre anéroïde. Ivrée. In-16, 108 p., 10 planches.

REGAZZONI. *L'uomo preistorico*... L'homme préhistorique dans la province de Côme. Milan. In-4°, 136 p., 10 pl. 10 fr.

VARGIU. *Sulla duplicazione*... Sur la duplication et la multiplication du cube. Oristano. In-8°, 12 p.

MONSELISE. *La chimica moderna*... La chimie moderne, ses doctrines et ses hypothèses. Vol. II. Mantoue. In-8°, 238 p. 4 fr.

SERPIERI. *Il terremoto*... Le tremblement de terre, ses lois, théorie et prédictions. Urbino.

DA COMO. *Geometria pratica*... Géométrie pratique; nouvelle formule pour le calcul des figures comprises entre une ligne courbe et une base rectiligne. Brescia. In-8°, 12 p.

GIANNETTO. *Dei fenomeni*... Des phénomènes de la combustion en rapport avec l'action chimique commutative. Messine. In-16, 16 p.

LOCKYER-NORMAN. *Studii di analisi*... Études d'analyse spectrale. Milan. In-8°, 236 p. 7 fr.

Memorie della Societa... Mémoires de la Société des sciences naturelles et économiques de Palerme. Vol. XIII. Palerme.

SANTINI. *I fenomeni del flusso*... Les phénomènes du flux et du reflux complètement expliqués avec les principes connus de la science, et appliqués à la recherche du niveau moyen de la mer. Palerme. In-8°, 88 p. et 1 pl. 1 fr.

CORSA. *Ricerche chimiche*... Recherches chimiques sur les minéraux et les roches de l'île de Vulcano. Rome. In-4°, 12 p.

MANZONI et MAZZETTI. *Echinodermi nuovi*... Échinodermes nouveaux de la molasse miocène de Montese dans la province de Modène. Pise. In-8°, 8 p. avec pl. (*Actes de la société ital. des sciences natur.*, t. III.)

MANZONI. *I briozoi fossili*... Les bryozoaires fossiles du miocène d'Autriche et de Hongrie. 2° et 3° parties. Vienne. In-4°, 30-24 p. avec 35 pl. 20f,75. (Ext. des *Denkschriften der k. Akad. d. Wissenschaften.*)

MERCALLI. *Sulle marmotte*... Sur les marmottes fossiles trouvées aux environs de Côme. Milan. In-8°, 8 p.

VERRI. *Sulla cronologia*... Sur la chronologie des volcans tyrrhéniens et sur l'hydrographie du val de Chiana, antérieurement à la période pliocène. Milan. In-8°, 20 p. avec planches. (Ext. des *Comptes-rendus de l'Institut de Lombardie.*)

MOLLAME. *I determinanti*... Les déterminants et leur application à l'algèbre et à la géométrie analytique. Naples. In-8°, VI-196 p. 6f,25.

AURELJ. *La questione degli elementi*... La question des premiers éléments de la matière, suivant les théories modernes de la physique et de la chimie. Mantoue. In-8°, 238 p. et 2 pl. 2f,50.

DE STEFANI e PANTANELLI. *Molluschi pliocenici*... Mollusques pliocènes des environs de Sienne. Pise. (*Bullet. de la Soc. malacol. ital.*)

DE ZIGNO. *Sulla distribuzione geologica*... Mémoire sur la distribution géologique et géographique des conifères fossiles. Padoue. In-8°, 16 p. et 3 pl.

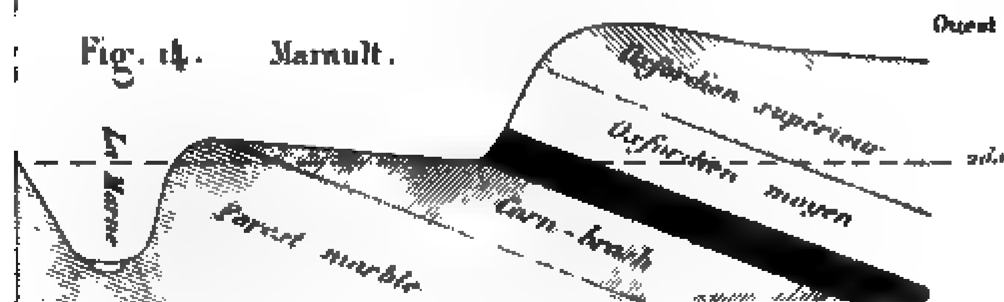
LOVISATO. *Strumenti litici*... Outils de pierre et courtes observations géologiques sur les provinces de Catanzaro et de Cosenza. Rome. In-4°, 22 p., 1 pl. (Extr. des *Mém. de l'Acad. des Lincei.*

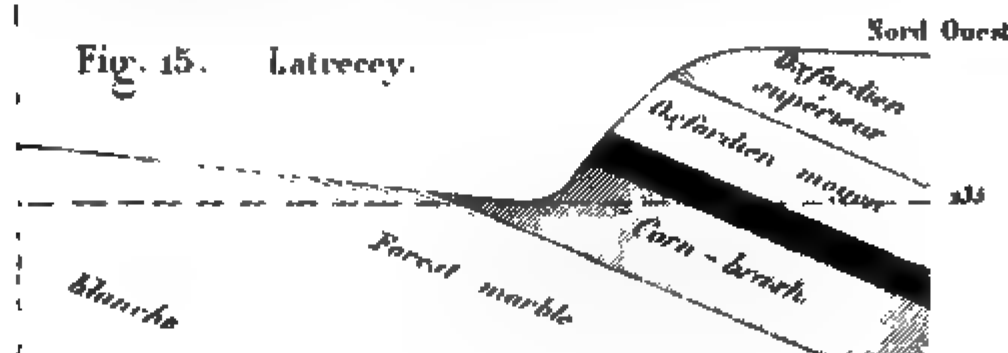
PONZI. *Le ossa fossili*... Les ossements fossiles subapennins des environs de Rome. In-4°, 22 p., 1 pl. (Extr. des *Mém. de l'Acad. des Lincei*).

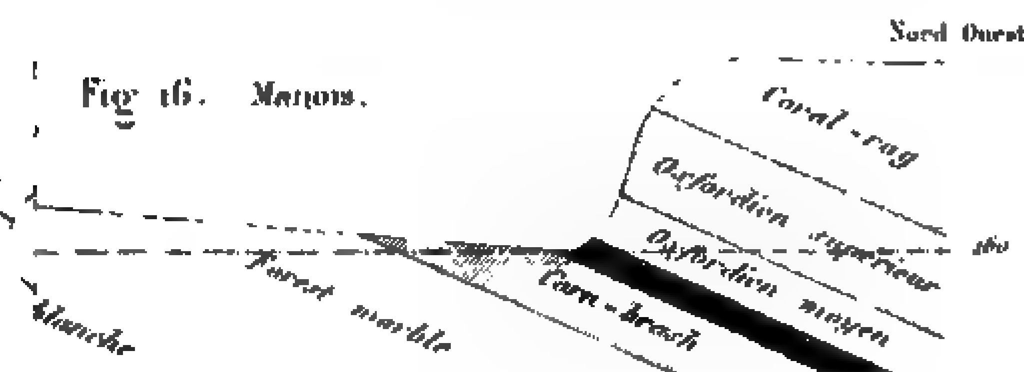
STOPPANI. *Carattere marino*... Caractère marin des grands cirques morainiques de la Haute-Italie. Milan. In-4°, 80 p., avec 6 pl.

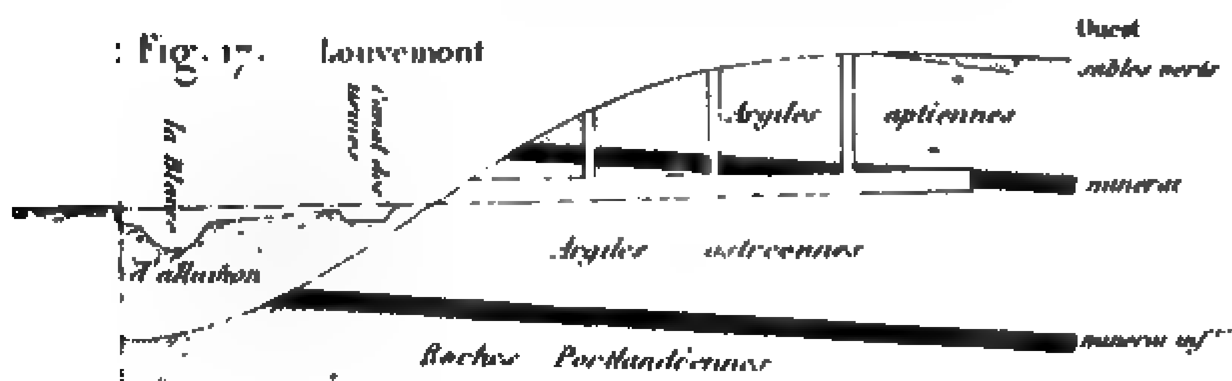
—— *Gita geologica*... Course géologique faite par les étudiants en sciences naturelles de l'Université de Pavie du 17 au 22 avril 1878. Pavie. In-16, 56 p.

Minières de la Haute Marne.

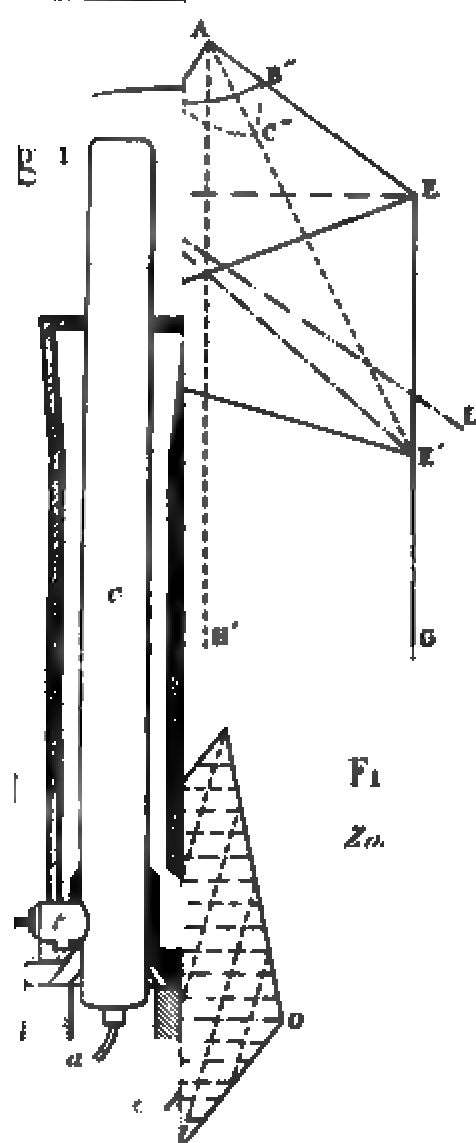


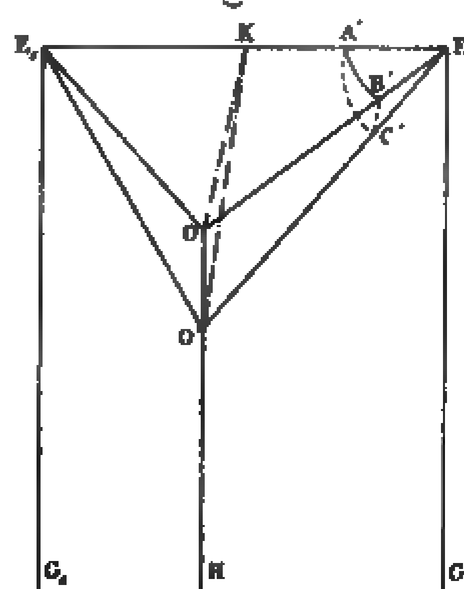






Marquet del. et sc.



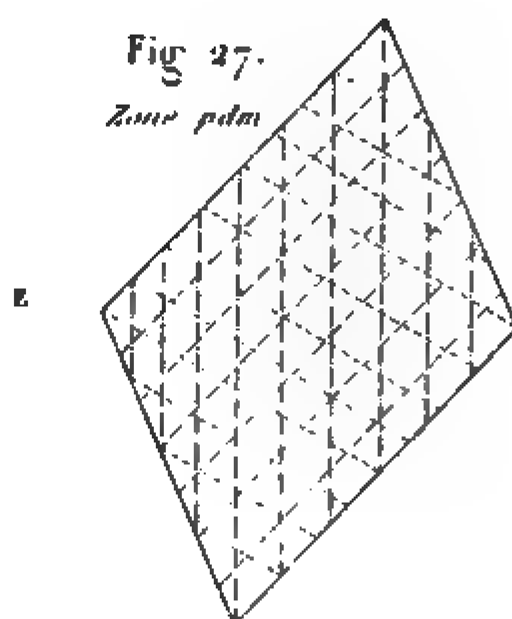


O,'

Fi

Zo.

E



O'



Fig. 9

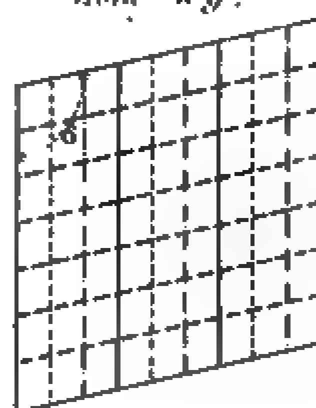


Fig. 29
Zone h'g'.

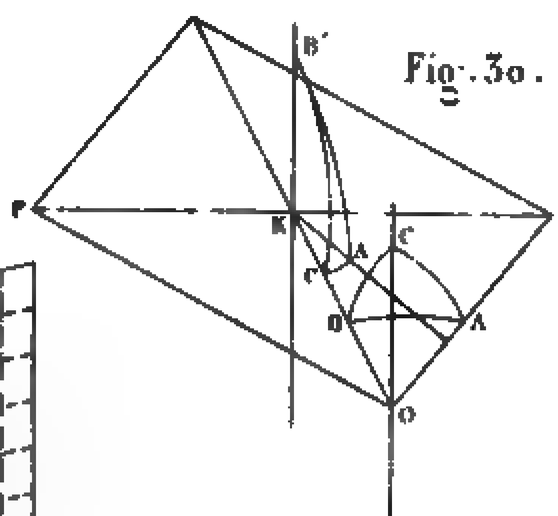
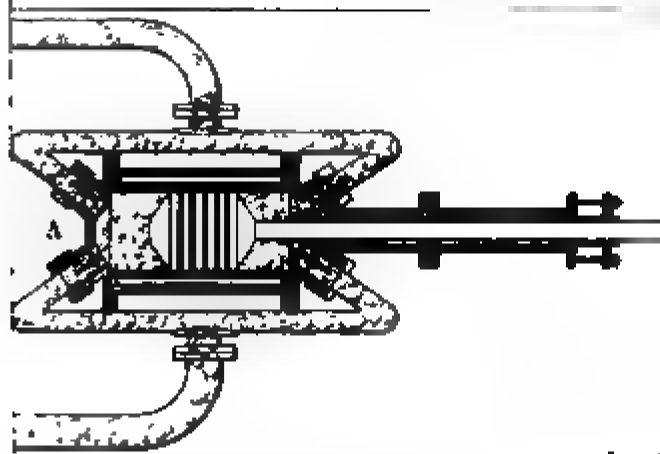


Fig.

...erence de l'...
...heminée.
...haudière.
...erence des f...
...rou d'hom...

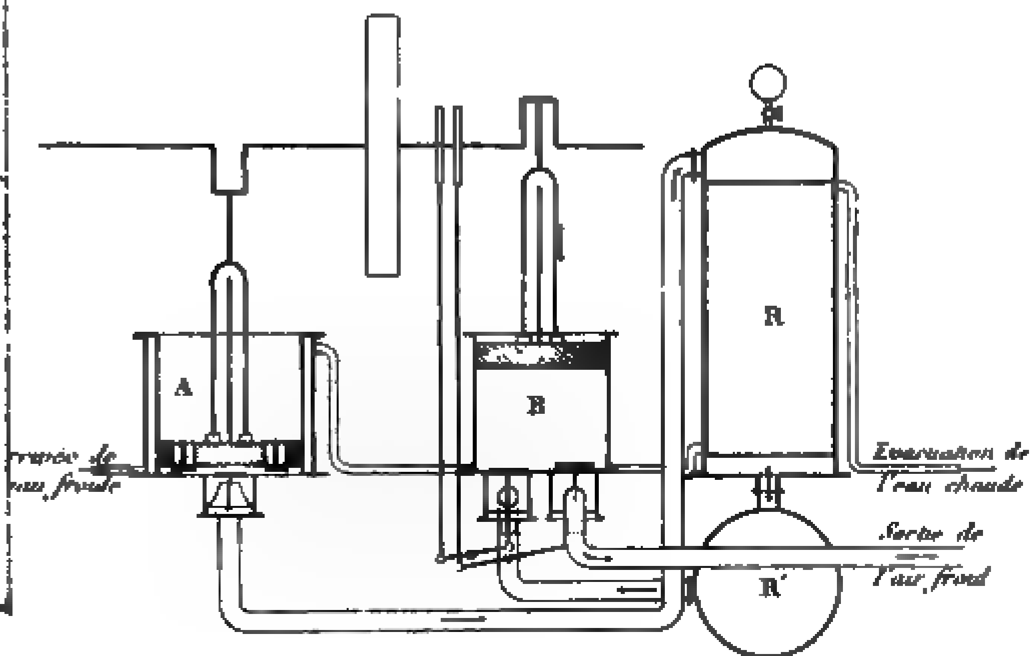
...les des M...

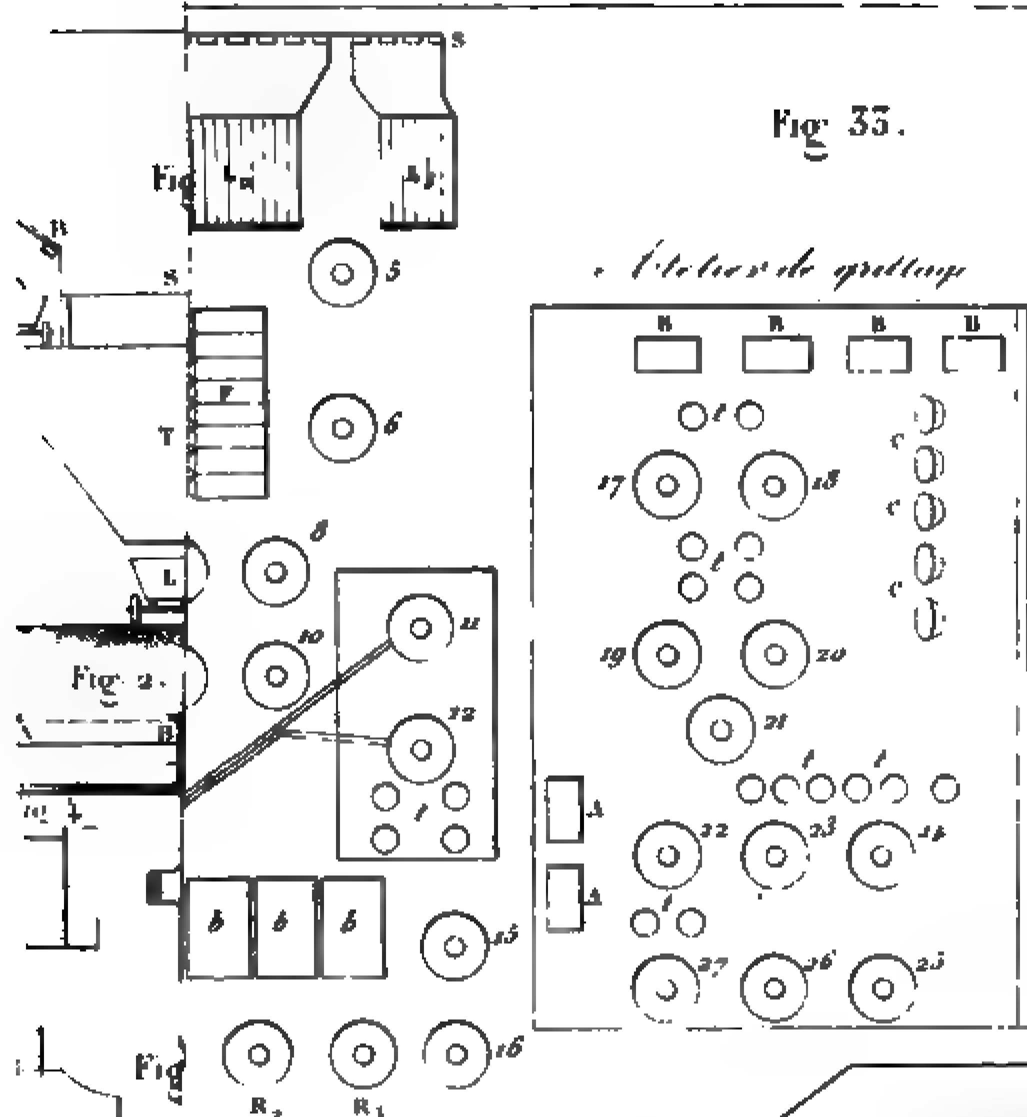
Macquet del. et sc.

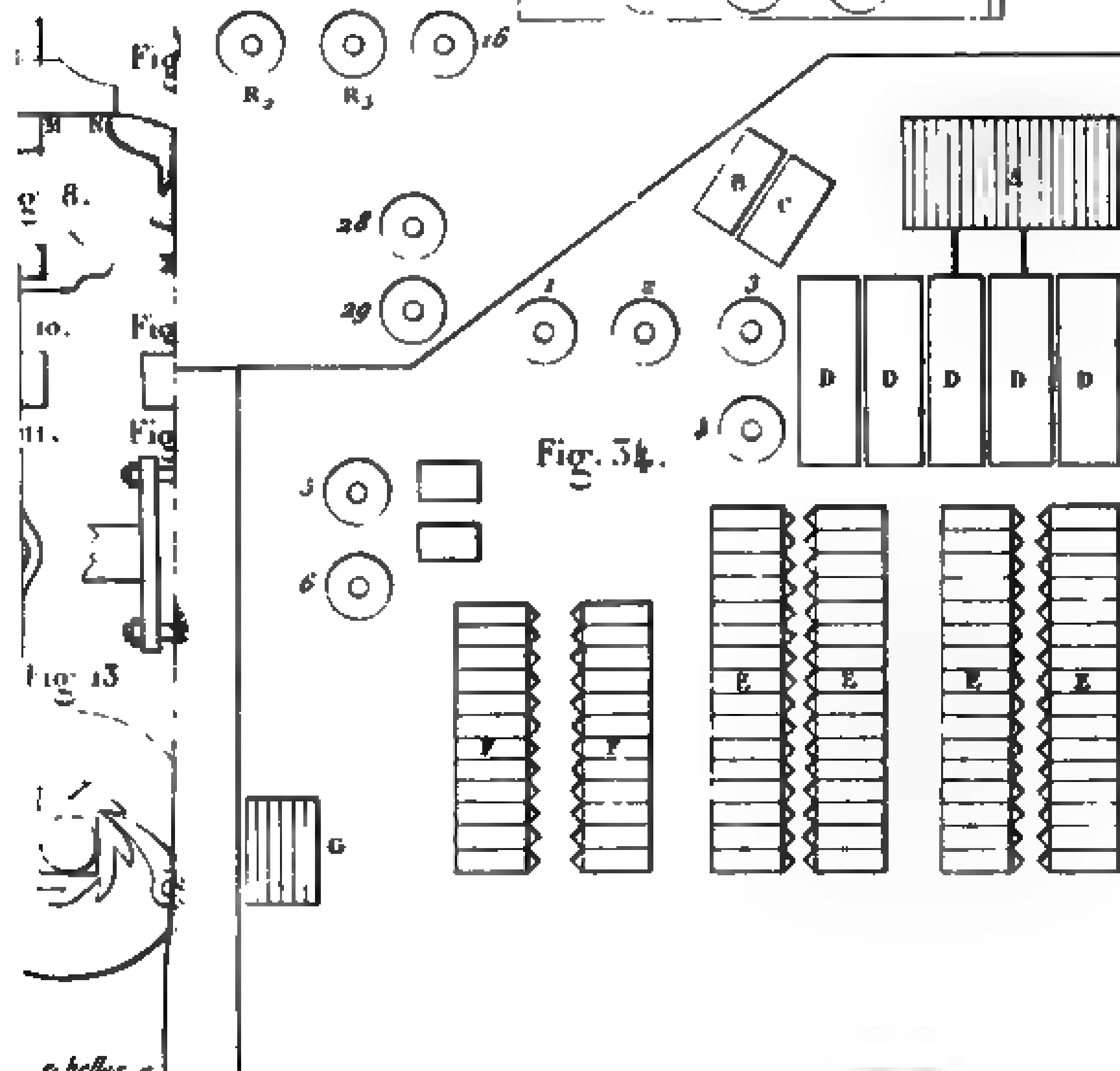


Acide sulfureux gazeux.
Acide sulfureux liquide.
Bain incongelable.

Fig. 2.

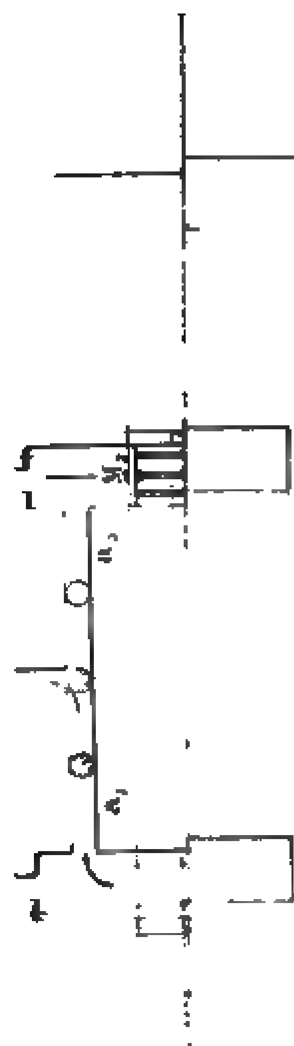






Jacquet sc.

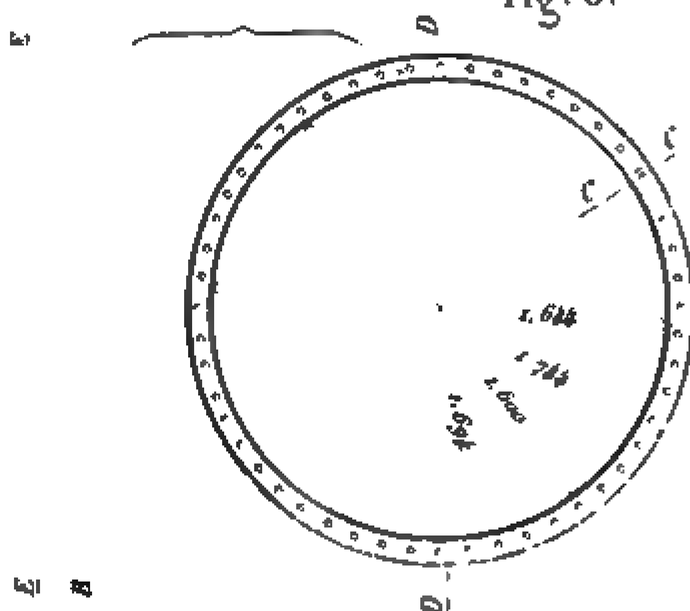
Pl. V.



Cercle ordinaire

Fig. 7.

Fig. 8.



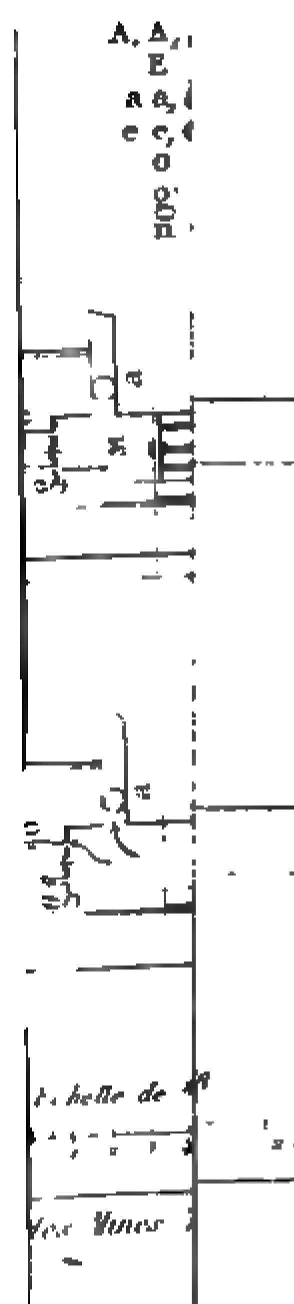
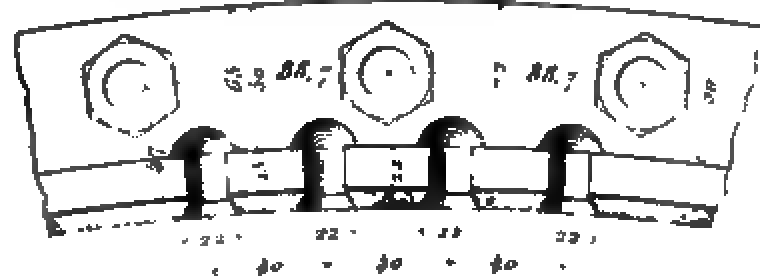


Fig 4. Coupe par AA



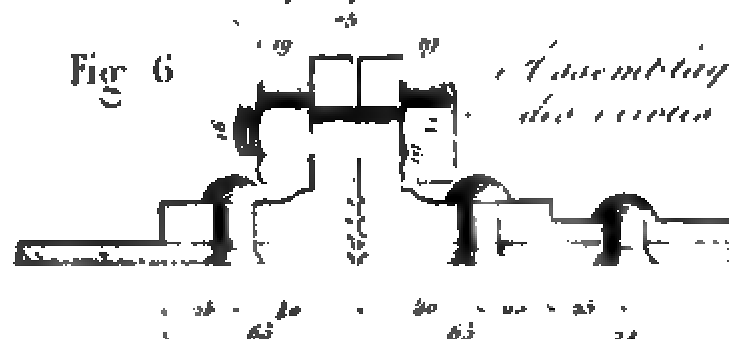
Fig 5. Coupe par BB



Coupe par CC

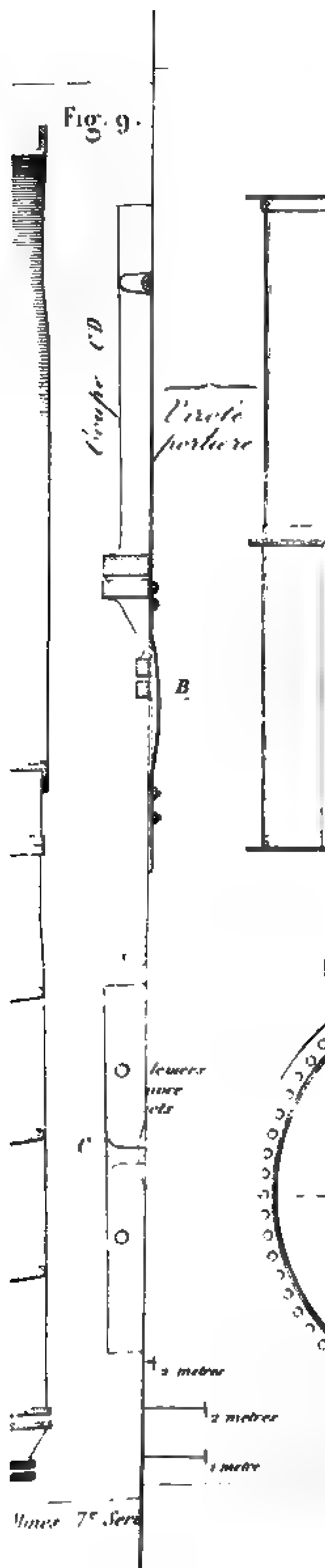
Fig 6

Assemblage des cercles

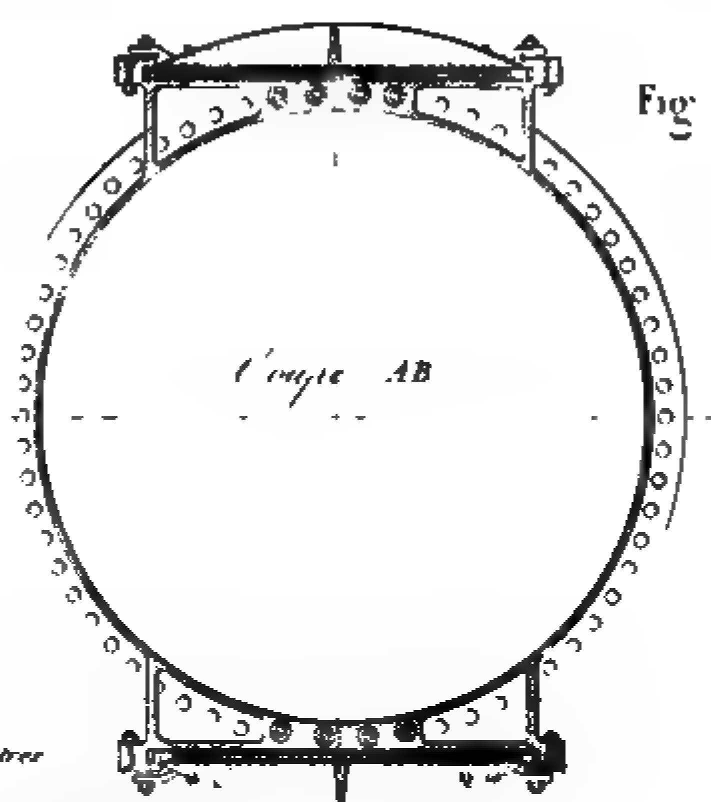


Jacquet del et sc

Pl. VI.

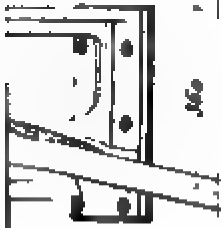


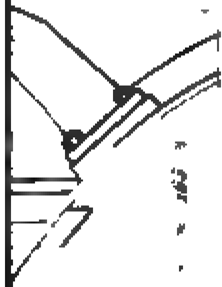


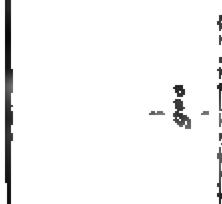


Macquet del. et sc.

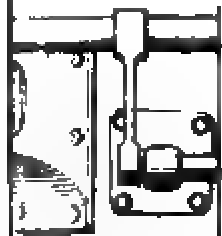
Fig. 1.











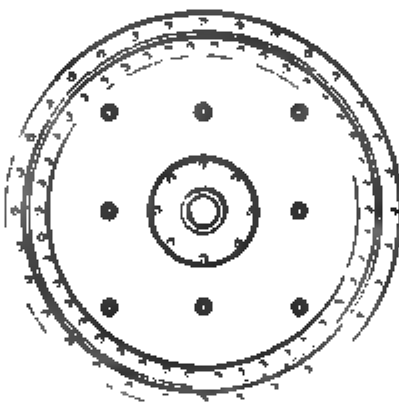
Piston du train

Fig. 5 Partie supérieure Fig 6

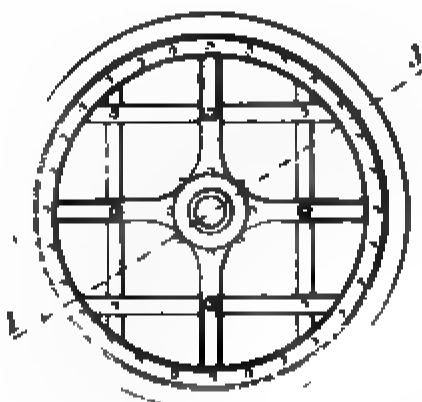
Partie inférieure

Coupe 1.1.

Plan



Corps du piston



Echelle de 1/20 pour les fig 5 et 6

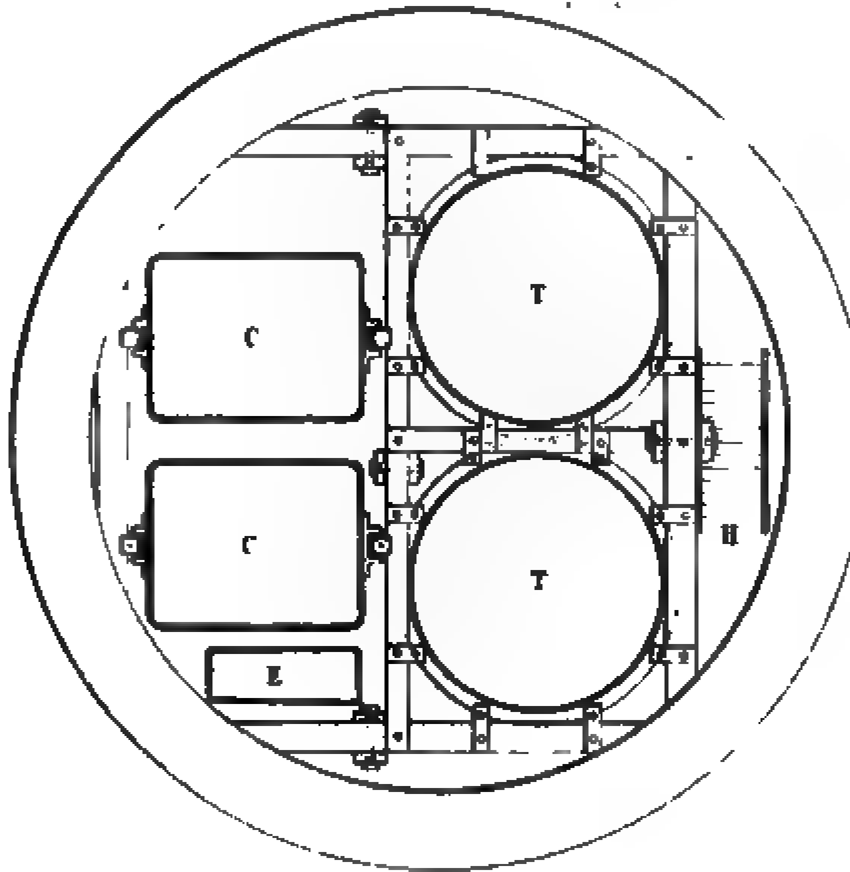
1 mètre 0 1 2 3 mètres

Jacquet del et sc

Fi

Fig. 5.

Division du puits avec deux tubes cuvelés



Légende

TT *Tubes cuvelés*
CC *Cages du service auxiliaire à câbles.*
E *Tuyau d'échappement.*
H *Échelles*

5 mètres

Virole d'admission d'air
id. d'échappement d'air

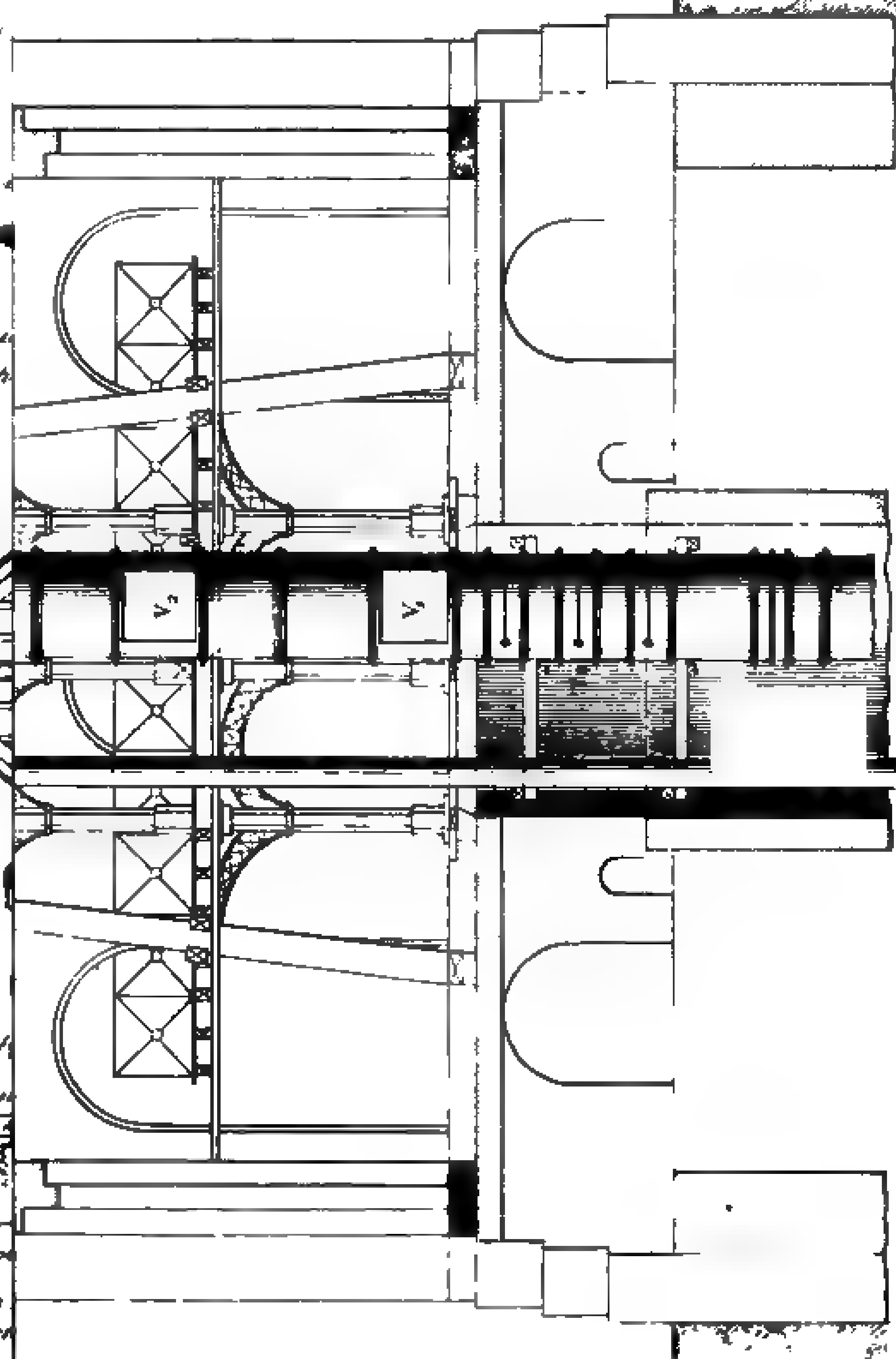
Macquet del. et sc.

Blanchet.

pour les Fig. 2, 3 et 4

20 30 mètres

jour avec trois planchers.



Fig

Macquet del. et sc.

Fig. 17.



Fig. 19.

Bassin houiller



Bacquet del et sc

Pl. XI.

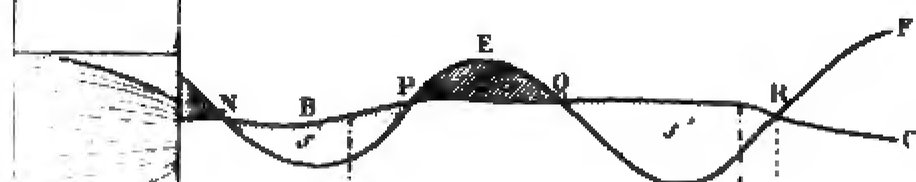
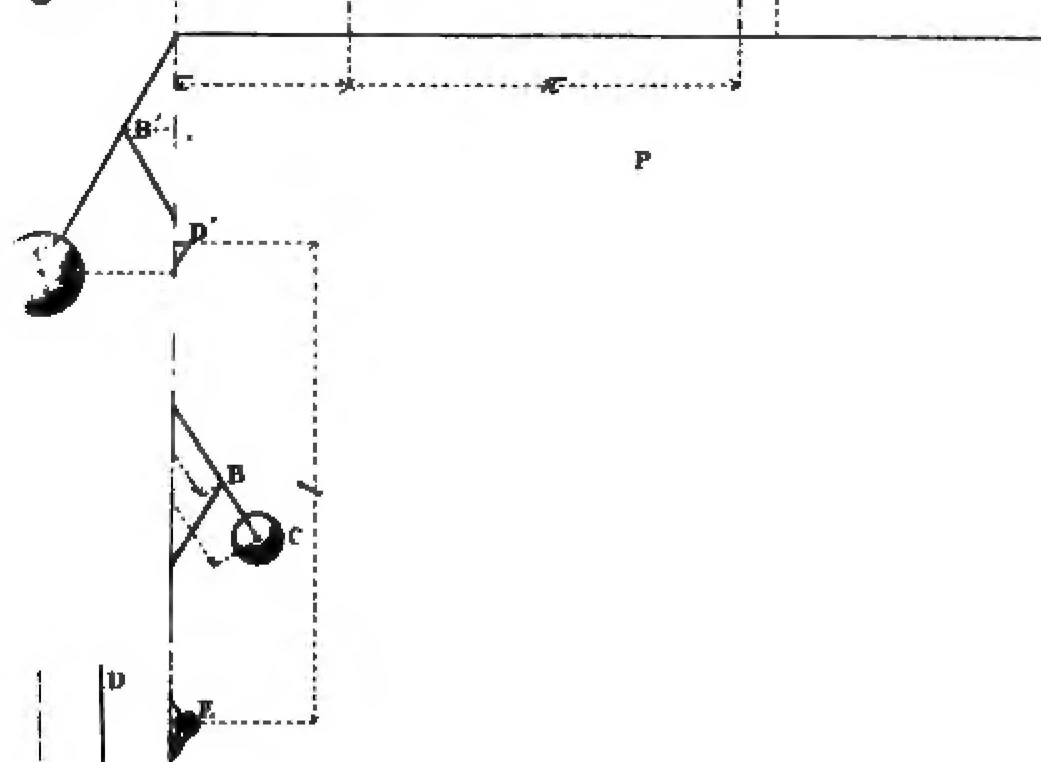


Fig. 4.



ig. 5.

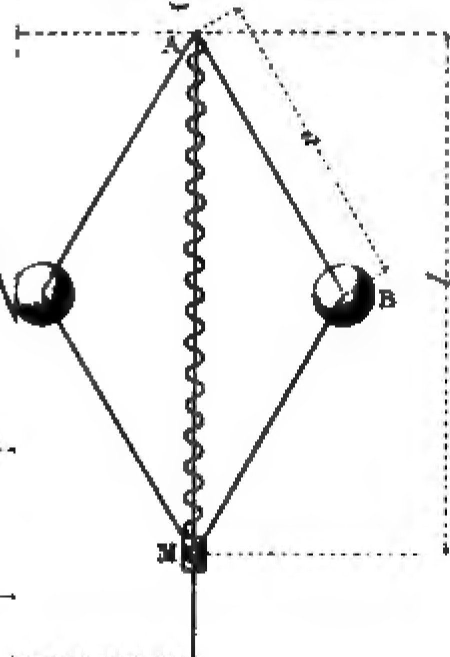


Fig. 12.

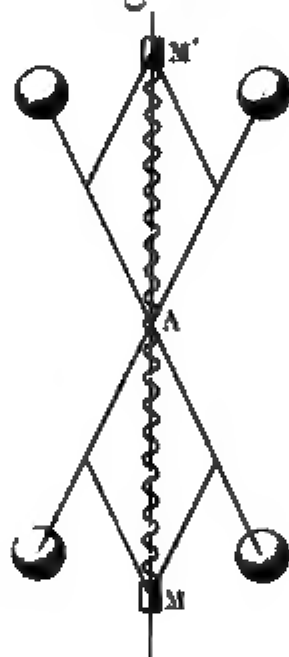


Fig. 13.

Macquet del. et sc.